

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy - 342

**Hodnocení spolehlivosti brzdového  
systému lokomotivy ve vztahu k  
požární bezpečnosti**

Evaluation of Reliability of Braking System  
Locomotives in Relation to Fire Safety

**Student:**

**Bc. Lucie Krňávková**

**Vedoucí diplomové práce:**

**doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lucie Krňávková**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2301T003 Dopravní technika a technologie

Specializace: 10 Kolejová doprava

Téma: **Hodnocení spolehlivosti brzdového systému lokomotivy ve vztahu k  
požární bezpečnosti**  
**Evaluation of Reliability of Braking System Locomotives in Relation to  
Fire Safety**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Cílem práce je provést analýzu vybraného okruhu pneumatické části brzdy dle požadavku společnosti CZ LOKO. Na základě identifikace nebezpečí v souvislosti se vznikem požáru na lokomotivě provést FTA a FMEA analýzu s návrhy na snížení rizik. Navržená opatření zhodnotit kvantitativní analýzou.

### Postup řešení:

1. Popis vybraného okruhu pneumatické části brzdy.
2. Identifikace a hodnocení nebezpečí v souvislosti s požární bezpečností vybraného okruhu brzdy.
3. Identifikace rizik s využitím FTA a FMEA analýzy.
4. Návrh opatření pro zlepšení bezpečnosti a požární integrity obvodu brzdy.
5. Výpočet pravděpodobnosti vzniku poruchových stavů obvodu brzdy.
6. Zhodnocení navržených opatření.

### Seznam doporučené odborné literatury:

FAMFULÍK, J., HRANOŠ, V., KRZYŽANEK, R., GALVASOVÁ, Z. Spolehlivost pozemní dopravy [online]. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013 [cit. 2017-02-05]. ISBN 978-80-248-3266-1. Dostupné z: [https://issuu.com/michdor/docs/m11\\_text](https://issuu.com/michdor/docs/m11_text).


Famfulík, J. Teorie údržby. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1029-8.  
Podklady společnosti Siemens.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jan Famfulík, Ph.D.**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Aleš Sliva, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovávala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 14. 5. 2013

Krémelová

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 14. 5. 2013

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Lucie Krňávková

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Chromeč 56, 789 01

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KRŇÁVKOVÁ, L. *Hodnocení spolehlivosti brzdového systému lokomotivy ve vztahu k požární bezpečnosti: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2019, 63 stran, Vedoucí práce: Famfulík, J.

Diplomová práce se zabývá jízdní způsobilostí vozidla v případě požáru, konkrétně funkcí samočinné brzdy. V úvodní části práce je představeno vozidlo, na kterém se funkce samočinné brzdy bude analyzovat a požadavky kladené na jednotlivé části samočinné brzdy vzhledem k požární odolnosti dle ČSN EN 50 553. Práce obsahuje analýzu jednotlivých částí brzdy, která zaznamenává nevyhovující prvky vzhledem k požární odolnosti. Práce dále obsahuje analýzu nebezpečí, která mohou v případě ztráty funkce samočinné brzdy nastat a FTA analýzu poruchových stavů v souvislosti s požárem na vozidle. Na základě FTA analýzy byla provedena návrhová opatření pro zvýšení požární bezpečnosti vozidla a následná FMEA analýza způsobů a důsledků poruch. V poslední části práce jsou zhodnocena doporučená návrhová opatření a pomocí výpočtu, je poukázáno na významnost protipožárního zabezpečení železničních vozidlech.

## ANNOTATION OF MASTER THESIS

KRŇÁVKOVÁ, L. *Evaluation of Reliability of Braking System Locomotives in Relation to Fire Safety: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Transportation, 2019, 63 pages, Thesis head: Famfulík, J.

This master thesis deals with the running capability of a vehicle in case of fire, especially with the functionality of the automatic brake. The introductory part of this thesis introduces the vehicle, on which the function of the automatic brake is being analyzed, and the requirements for individual parts of the automatic brake regarding fire resistance according to the ČSN EN 50 553. The thesis includes the analysis of the individual parts of the brake which records the non-compliant components regarding the fire resistance. This thesis furthermore includes the analysis of risks, which can arise in case the automatic brake loses its functionality, and an FTA analysis of fault conditions in relation to fire on vehicle. Based on the FTA analysis, the measures were suggested to increase the fire safety of the vehicle, and follow-up FMEA analysis of forms and results of defects was made. The last part of this thesis evaluates the recommended suggested measures, and, by calculation, shows the significance of the fire safety on railway vehicles.

### **Poděkování**

Děkuji vedoucímu své diplomové práce doc. Ing. Janu Famfulíkovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při odborných konzultacích. Dále děkuji panu Ing. Františku Rýznarovi za poskytnutí materiálů k práci, odborné konzultace a pomoc při řešení problémů.

## Obsah

Seznam použitých zkratk, symbolů a veličin .....	10
Úvod .....	12
1. Technický popis lokomotivy 744.1 .....	13
1.1 Protipožární systém lokomotivy .....	15
2. Popis vybraného okruhu pneumatické části brzdy .....	17
2.1 Popis komponentů pneumatické části samočinné brzdy .....	17
2.1.1 Doplnkové funkce brzdových systémů .....	22
2.2 Elektrické řízení samočinné brzdy .....	22
2.2.1 Napájení brzdících ventilů na panelu brzdiče BSE .....	22
2.2.2 Napájení bezpečnostních ventilů vlakového zabezpečovače .....	23
2.2.3 Napájení kompresoru .....	24
2.3 Propojovací elektrické prvky .....	24
3. Identifikace a hodnocení nebezpečí v souvislosti s požární bezpečností vybraného okruhu brzdy .....	25
3.1 Jízdní způsobilost a klasifikace požáru .....	25
3.1.1 Požadavky na systémovou funkci samočinné brzdy .....	25
3.1.2 Analýza systémové funkce samočinné brzdy .....	27
3.2 Analýza rizika .....	29
3.2.1 Posouzení nebezpečí .....	29
4. Identifikace rizik s využitím FTA a FMEA analýzy .....	35
4.1 Analýza stromu FTA [9] .....	35
4.1.1 Konstrukce stromu poruch .....	35
4.2 Metoda FMEA .....	41
4.2.1 Postup provedení FMEA analýzy .....	41
4.2.2 Výpočet RPN (Risk Priority Number) .....	43
4.2.3 Klasifikace poruch .....	43
4.2.4 Matice závažnosti .....	45
5. Návrh opatření pro zlepšení bezpečnosti a požární integrity obvodu brzdy .....	46



5.1	Kabely .....	46
5.2	Hadicové spojky .....	47
5.3	Pneumatický blok .....	47
5.4	Blok kompresoru .....	47
5.5	Technické oddíly s vlakovým zabezpečovačem .....	48
5.6	Kabina.....	49
5.7	Rozvaděč pomocných pohonů R1, R3 .....	49
5.7.1	Protipožární příčky .....	49
6.	Výpočet pravděpodobnosti vzniku poruchových stavů obvodu brzdy .....	52
6.1	Výpočet spolehlivosti brzdy .....	52
6.2	Pravděpodobnost selhání brzdy v důsledku požáru .....	54
6.2.1	Poissonovo rozdělení .....	54
6.2.2	Výpočet a porovnání výsledků .....	54
7.	Zhodnocení navržených opatření.....	57
8.	Závěr .....	58
	Seznam literatury a zdrojů .....	59
	Seznam tabulek .....	61
	Seznam obrázků .....	62
	Seznam příloh.....	63

## Seznam použitých zkratek, symbolů a veličin

ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
RAMS	bezporuchovost, pohotovost, udržovatelnost, bezpečnost
AC	střídavý proud
DC	stejnoseměrný proud
CRV	centrální regulátor vozu
DPV	diagnostický počítač vozu
RTR	regulátor trakce
EDB	elektrodynamická brzda
VZ	vlakový zabezpečovač
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
E	kritérium integrity
I	izolační kritérium
FTA	analýza stromu poruchových stavů
FMEA	analýza způsobů a důsledků poruchy
RPN	Risk Priority Number – hodnota rizikového čísla
Eurostat	Evropský statistický úřad
S	závažnost nebezpečí – důsledku poruchy
O	četnost vzniku poruchy
D	odhalitelnost poruchy
MTBF	střední doba provozu mezi poruchami
T	čas
$\lambda$	intenzita poruch
FIT	počet poruch za $10^9$ hodin
F(t)	distribuční funkce pravděpodobnosti poruchy
R(t)	pravděpodobnost bezporuchovosti

$p(k)$	hustota pravděpodobnosti jevu
$k$	počet sledovaných jevů (poruch, požárů)
MTBFR	střední doba mezi požáry

## Úvod

Železniční doprava je po letecké dopravě považována za nejbezpečnější druh dopravy, co do počtu nehod, úmrtí osob a způsobené škodě. S tím úzce souvisejí přísné požadavky na infrastrukturu, zabezpečovací zařízení na tratích i železničních vozidlech a konstrukci kolejových vozidel. V železniční dopravě se pro všechna drážní zařízení uplatňuje Evropská norma ČSN EN 50 126, která výrazně přispívá k bezpečnosti dopravy. Norma stanovuje požadavky na bezporuchovost, pohotovost, udržitelnost a bezpečnost (RAMS) pro drážní zařízení.

V posledních letech se klade zvlášť velký důraz zejména na požární bezpečnost vozidel, což vozidla značně prodražuje, ale je pro dosažení požadované bezpečnosti zcela nezbytné. Veškerá nově vyrobená vozidla a nově rekonstruovaná vozidla musí vyhovovat stanoveným protipožárním normám ČSN EN 45 545 a ČSN EN 50 553. V normách jsou stanoveny typy požárů, požadavky na materiál, provozuschopnost systémových funkcí v případě požáru, stanovují průběh zkoušek jednotlivých materiálů a součástí, protipožární systém drážních vozidel atd.

V případě vzniku požáru na lokomotivě je hlavní prioritou zachovat správnou činnost důležitých systémových funkcí. Jednou z těchto funkcí je u železničního vozidla bezpochyby samočinná brzda. Proto musí jednotlivé prvky samočinné brzdy a prvky, které mají vliv na funkčnost této brzdy, vykazovat požadovanou požární odolnost.

Hlavním cílem práce je určit části systémové funkce samočinné brzdy, které nejsou chráněny proti požáru a stanovit taková opatření, která budou v souladu s protipožárními normami železničních vozidel. Stanovená opatření povedou ke zvýšení spolehlivosti brzdového systému vzhledem k požární bezpečnosti.

## 1. Technický popis lokomotivy 744.1

Čtyřnápravová motorová lokomotiva 744.1 je určena pro střední těžkou posunovací a traťovou službu na vlečkách a tratích o rozchodu 1 435 mm. Koncepčně je lokomotiva řešena jako kapotová s věžovou kabinou strojvedoucího. Pojezd lokomotivy se skládá ze dvou dvounápravových podvozků. Vedení dvojkolí a přenos podélných sil je realizován pomocí ojníčkového vedení. Jednotlivá dvojkolí jsou individuálně poháněna vlastním elektromotorem. Na podvozcích je uložen hlavní rám lokomotivy. Pod hlavním rámem je ve střední části umístěna palivová nádrž se čtyřmi zásobníky písku a hlavní vzduchojemy. V horní části rámu jsou uloženy hnací agregáty, kabiny a kapoty.

Hnací agregát tvoří spalovací motor Caterpillar C32 a trakční alternátor Siemens 1FC2 560–6. Oba stroje jsou uloženy ve společném mezirámu, který je pružně uložen na hlavní rám lokomotivy. Přenos výkonu je elektricky střídavý (AC/AC). Čtyři střídavé trakční elektromotory jsou napájeny z trakčního alternátoru přes trakční střídače.

V přední kapotě lokomotivy je umístěn blok pneumatické výzbroje, blok kompresoru, blok chlazení spalovacího motoru, motorgenerátor a ventilátory chlazení trakčních motorů obou podvozků. V zadní kapotě se nachází elektrický rozvaděč R1, blok elektrodynamické brzdy a čtyři trakční střídače. [1]

Brzdová výstroj lokomotivy je tvořena třemi systémy vzduchotlakových brzd DAKO, elektrodynamickou brzdou a střadačovou brzdou. Mechanickou část brzdy tvoří osm jednotek kotoučové brzdy. Brzdová výstroj lokomotivy je dále vybavena protismykovým zařízením, které brání přebrzdění dvojkolí při nepříznivých adhezních podmínkách a systémem čištění jízdni plochy kol. Zdrojem vzduchu je lamelový olejový kompresor typu M 111 H od výrobce Mattei se sušičkou.

Celá lokomotiva je ovládána pomocí řídicího systému od firmy MSV elektronika, který má tři základní funkce:

- CRV – centrální regulátor vozu
- DPV – diagnostický počítač vozu
- RTR – regulátor trakce

Napětí palubní sítě je 24 V DC. Prostředky požární ochrany lokomotivy zajišťují ruční hasící přístroje, čidla detekce požáru a stabilní hasící zařízení.

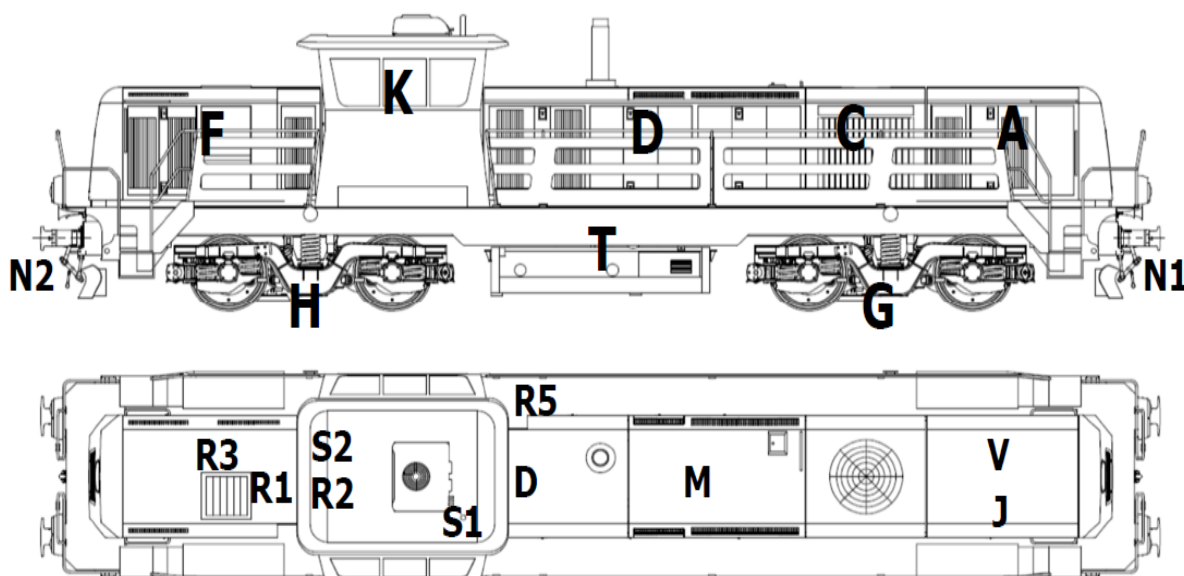
Tabulka 1.1 Základní technické údaje [1]

Rozchod	1 435 mm
Nejvyšší provozní rychlost	100 km/h
Jmenovitá hmotnost drážního vozidla (se 2/3 provozních hmot)	80 tun (+3/−1 %)
Jmenovitá hmotnost na nápravu	20 tun (±2 %)
Způsob uložení hlavního rámu na podvozku	vinuté pružiny
Uspořádání dvojkolí	Bo´ Bo´
Velikost převodu v nápravové převodovce	84:17
Počet hnacích dvojkolí	4
Obrys pro drážní vozidlo	G1 dle EN15273-2
Maximální šířka	3 060 mm
Maximální výška (bez antén)	4 280 mm
Délka přes nárazníky	16 400 mm
Délka přes čelníky	15 100 mm
Vzdálenost středů otočných čepů	8 500 mm
Rozvor podvozků	2 400 mm
Jmenovitý průměr kola	1 100 mm
Jízdní obrys kola	S1002 dle ČSN EN 13715
Nejmenší poloměr oblouku při průjezdu rychlostí do 5 km/h	80 m
Přenos výkonu elektrický	AC/AC
Výkon na háku trvalý	653,3 kW
Trvalá rychlost	5 km/h
Tažná síla na háku při trvalém výkonu	160 kN
Maximální tahná síla na	262 kN
Výkon elektrodynamické brzdy	933 kW
Maximální síla vyvozená EDB (na háku)	85,3 kN



Obrázek 1 Lokomotiva 744.1 [1]

A kapota přední	H zadní podvozek	N2 zadní čel. lok	S1 přední stanoviště
C kapota střední	J blok kompresoru	R1 rozvaděč	S2 zadní stanoviště
D kapota střední	K kabina	R2 rozvaděč	T hlavní rám
F kapota zadní	M motogenerátor	R3 rozvaděč	V vzduchový blok
G přední podvozek	N1 přední podvozek	R5 rozvaděč	



Obrázek 2 Popis částí lokomotivy [1]

### 1.1 Protipožární systém lokomotivy

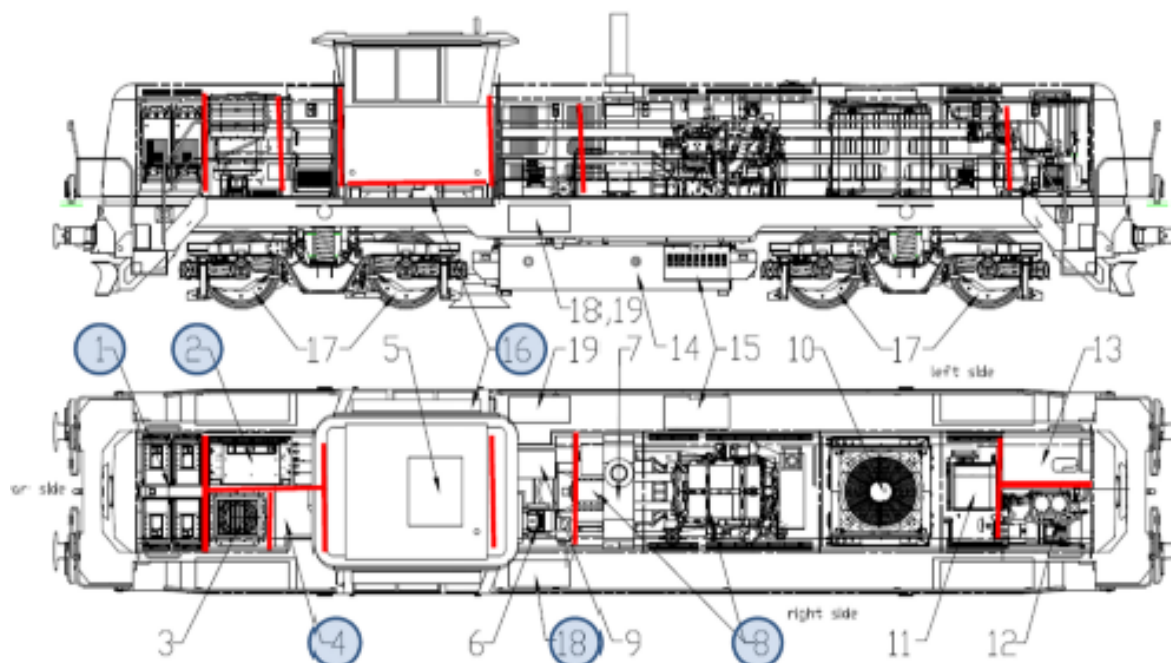
Úkolem protipožárního systému lokomotivy je detekovat místo požáru na lokomotivě a zamezit jeho šíření. K vyhodnocování, detekci a následnému hašení požáru je na lokomotivě umístěna řídicí a vyhodnocovací jednotka FDU. Jednotka FDU je umístěna na levé straně vozidla v kapse rámu.

S řídicím systémem vozidla je protipožární systém propojen pomocí komunikační sběrnice CAN, přes kterou se přenášejí provozní a diagnostické údaje systému. Údaje jsou zobrazovány na displejích na stanovištích strojvedoucího. Základní provozní stavy zařízení se ukládají do záznamové jednotky vlakového zabezpečovače BL3 (RCEC). Všechny obvody protipožárního systému jsou provedeny vodiči a kabely kategorie dle EN 50 200. Použité typy a průřezy vodičů a kabelů jsou dle doporučení dodavatele protipožárního zařízení. [2]

Všechny hašené prostory jsou osazeny snímači teploty (teplocitlivý kabel) a tlakovými kapslemi s hasícím aerosolem s vydatností 100 g/m<sup>3</sup> hašeného prostoru. Prostor spalovacího motoru je navíc osazen dvěma snímači detekce kouře a plamene.

Základní rozdělení kontrolovaných a samostatně hašených prostorů vozidla:

- 1 - trakční kontejnery 1-4
- 2 - rozvaděč pomocných pohonů
- 4 - rozvaděč nízkého napětí
- 8 - prostor spalovacího motoru
- 16 - naftové nezávislé topení
- 18 - trakční usměrňovač



Obrázek 3 Rozdělení kontrolovaných a hašených prostorů na lokomotivě [2]

Kabina strojvedoucího je od sousedních kapot oddělena podlahou a protipožárními příčkami. Pod kabinou se nachází teplovzdušné topení, které je vybaveno hasícím systémem. Jeho výstění vedoucí do kabiny je vybaveno protipožární klapkou, která odděluje oba prostory. Elektrická topení ve stupíncích jsou opatřena vlastním teplotním čidlem a tepelnou ochranou, zamezující přehřátí el. výměníku. Na stropě kabiny je umístěna výstražná houkačka, která slouží k optické a akustické signalizaci stavů protipožárního zařízení. Na stanovišti strojvedoucího je umístěna kontrolní signalizace činnosti hasícího zařízení a signalizace detekce požáru v hlídaných prostorech. Na stropě kabiny je také umístěn kombinovaný detektor teploty a kouře, který kontroluje vyhrazený prostor kabiny.



## 2. Popis vybraného okruhu pneumatické části brzdy

Pro posouzení spolehlivosti z brzdového systému lokomotivy 744.1 ve vztahu k požární bezpečnosti byla vybrána samočinná (nepřímočinná) pneumatická brzda. Samočinná pneumatická brzda na hnacích vozidlech je uspořádána podle charakteru užití a způsobu práce, pro kterou je vozidlo určeno. Tato brzda reguluje tlakové změny vzduchu v hlavním potrubí, pomocí kterých dochází k brzdění samotné lokomotivy i celého vlaku. Proto se jedná o nejdůležitější typ pneumatické brzd. Brzda je samočinná proto, že při rychlejším poklesu tlaku vzduchu v hlavním potrubí, které překročí danou mez (např. roztržení vlaku a následné roztržení vzduchových hadic) dojde k samočinnému brzdění vlaku. Za nepřímočinnou je brzda považována proto, že jí strojvedoucí ovládá nepřímou regulací tlaku vzduchu v hlavním potrubí. Daný brzdový systém umožňuje stupňovité brzdění i odbrzďování. Tlak v hlavním potrubí lokomotivy se pohybuje v intervalu  $0-5 \pm 0,1$  bar. K plnému brzdnému účinku dojde při poklesu tlaku na 3,5 bar.

Plnění a vyprazdňování brzdových válců brzdových jednotek je řízeno brzdovým rozvaděčem v závislosti na změnách tlaku vzduchu v hlavním potrubí. Brzdový rozvaděč ovládá prostřednictvím svého řídicího výstupu tlakem  $0 - 3,8 \pm 0,1$  bar dvě tlaková relé DAKO-TR4.2. Ta plní brzdové válce tlakem  $0 - 2,8 \pm 0,1$  bar. Vzduch pro plnění brzdových válců je brán ze zásobních vzduchojemů, které jsou přes napájecí potrubí plněny z hlavních vzduchojemů. Naopak při odvětrávání (odbrzďování) brzdových válců uniká vzduch přes tlaková relé do ovzduší. Na brzdovém rozvaděči lze nastavit dva režimy lišící se dobou plnění a vyprazdňování brzdových válců – osobní [O] (plnění 6–10 s, vypouštění 15–20 s) a nákladní [G] (plnění 18–30 s, vypouštění 45–60 s).

### 2.1 Popis komponentů pneumatické části samočinné brzd

V následující kapitole jsou krátce popsány jednotlivé komponenty pneumatické části brzd. Popis komponentů byl proveden na základě pneumatického schématu brzd, a proto bylo, pro lepší orientaci při tvorbě práce, zachováno číslování komponentů dle schématu.

- Kompresor (1): Zdroj stlačeného vzduchu pneumatické výzbroje je elektrický poháněný lamelový kompresor Mattei M 111 H. Ten přes vzduchový chladič, sušičku stlačeného vzduchu, jemný filtr přes zpětný ventil přivádí vzduch do dvojice sériově řazených hlavních vzduchojemů.
- Tlakový snímač (BP2): Tlakový snímač se nachází na panelu přístrojů (A) a řídí chod kompresoru. Snímač předává řídicímu systému lokomotivy informaci o tlaku vzduchu.

- Hlavní vzduchojemy (10/1,10/2): Na lokomotivě jsou pod hlavním rámem ve střední části umístěny dva vzduchojemy, každý o objemu 500 litrů. Vzduchojemy jsou zapojeny do série a jsou plněny kompresorem na plný provozní tlak. Při dosažení vyššího tlaku vzduchu než 5 bar v hlavním vzduchojemu, začne se plnit brzdíč DAKO – BSE 2, hlavní potrubí a zařízení samočinné brzdy.
- Napájecí potrubí (NP): Stlačený vzduch z hlavních vzduchojemů je vyveden napájecím potrubím na oba čelníky vozidla. Napájecí potrubí je zakončeno spojkovými kohouty (56/1-56/4) s brzdovými spojkami se zrcadlovou hlavicí (58/1-58/4). Napájecím potrubím se vzduchem z hlavních vzduchojemů plní následující pneumatická zařízení: zásobní vzduchojemy (23, 24), brzdíč samočinné brzdy DAKO – BSE2 (41), tlakové relé DAKO – TR4.2 (27, 28), brzdový rozvaděč DAKO-CV1nD 10-L (50), panely pneumatické výzbroje (A, B) a panely doplňkových funkcí brzdového systému.
- Hlavní potrubí (HP): Hlavní potrubí na hnacím vozidle je vyvedeno z brzdíče samočinné brzdy na oba čelníky hnacího vozidla. Na čelnících je potrubí rozvětveno a zakončeno spojkovými kohouty (57/1, 57/4) a brzdovými spojkami (59/1, 59/4).
- Zásobní vzduchojemy (24, 23): Zásobní vzduchojemy každý o objemu 50 litrů, jsou napájeny na činné lokomotivě z napájecího potrubí. Každý vzduchojem má svoji větev. Vzduchem ze zásobních vzduchojemů jsou přes tlaková relé (27,28) plněny brzdové válce.
- Brzdíč samočinné brzdy DAKO – BSE2 (41): Elektricky ovládaný panelový brzdíč samočinné brzdy řídí na pokyn strojvedoucího změnu tlaku v hlavním potrubí. Je osazen šesti elektropneumatickými ventily: ventil závěru (YV60), vysokotlakého švihu (YV64), nízkotlakého přebití (YV63), provozního odbrzdění (YV62), provozního brzdění (YV61) a rychločinného brzdění (YV65). Na vstup brzdíče je přivedeno napájecí potrubí a na výstupu z brzdíče se nachází hlavní potrubí, které je brzdíčem plněno jmenovitým tlakem 5 bar. K brzdíči je dále potrubím připojen řídicí vzduchojem (71) o objemu 2,5. Podle tlakových změn v řídicím vzduchojemu se prostřednictvím rozvodového ventilu, který je součástí brzdíče, mění tlakové poměry v hlavním potrubí.
- Brzdový rozvaděč DAKO – CV1nD 10-L (50): Brzdový rozvaděč je hlavní činný přístroj brzdy lokomotivy, který plní řídicí vzduchojem v závislosti na poklesu tlaku v hlavním potrubí. Danou tlakovou změnu vyhodnotí a podle toho řídí brzdění a odbrzdění lokomotivy. Doplňováním pomocného vzduchojemu zaručuje

nevyčerpatelnost brzdy. Rozvaděč je propojen s hlavním a napájecím potrubím, pomocným vzduchojemem (52), rozvodným vzduchojemem (49) a řídicím vzduchojemem (48). Pomocný vzduchojem slouží jako zásobník stlačeného vzduchu, kterým brzdový rozvaděč plní své výstupní potrubí, podle kterého se řídí tlak vzduchu v brzdových válcích. Rozvodný vzduchojem slouží jako etalon pro samočinnou brzdu, v němž je udržována jmenovitá hodnota tlaku vzduchu v hlavním potrubí. Brzdový rozvaděč tyto vzduchojemy plní vzduchem z napájecího potrubí. Řídicí vzduchojem se nachází mezi rozvaděčem a tlakovými relé. Jeho úkolem je na základě tlakové změny v řídicím vzduchojemu vyvolané rozvaděčem ovládat tlaková relé.








- Lokomotivní odbrzdovač DAKO – OL2 (54): Zařízení je spojeno s brzdovým rozvaděčem a slouží k operativnímu snížení brzdícího účinku lokomotivy během provozního brzdění vlaku. Lokomotiva při účinkování odbrzdovače brzdí nižším účinkem než vlaková souprava.
- Ruční odbrzdovač: Zařízení je součástí brzdového rozvaděče a slouží k ručnímu odpuštění nebo vypuštění stlačeného vzduchu z brzdových prostor. Má dvě polohy. V první poloze dojde k odvětrání pomocného vzduchojemu a ve druhé dojde k odvětrání pomocného i řídicího vzduchojemu.
- Tlakové relé DAKO – TR4.2 (27, 28): Úkolem tlakových relé je na základě tlakových změn ve svém řídicím potrubí plnit brzdové válce tlakem  $0 - 2,8 \pm 0,1$  bar nebo je vypouštět. Vzduch pro plnění brzdových válců je brán ze zásobních vzduchojemů (23, 24). Při odvětrávání (odbrzdování) brzdových válců uniká vzduch přes tlaková relé do ovzduší. Tlaková relé jsou připojena na panel doplňkové brzdy (B).
- Brzdová jednotka kotoučové brzdy (39/1 – 39/4, 40/1 – 40/4): Na lokomotivě jsou čtyři brzdové jednotky kotoučové brzdy DAKO – KBD, které slouží k přímému vyvození účinku brzdné síly na kolo.
- Ventily záchranné brzdy (111/1, 111/2): Na hlavní potrubí jsou umístěny 2 ventily záchranné brzdy. Ty jsou po jednom umístěny na každé stanoviště strojvedoucího. Při stisku hříbkového tlačítka ventilu dojde k úniku vzduchu z hlavního potrubí a aktivaci brzdy. [4]
- Panel vlakového zabezpečovače (110): Nachází se v prostoru ventilátoru chlazení trakčních motorů 1. podvozku. Je připojen na k hlavnímu potrubí a jsou na něm dva elektropneumatické ventily, přes které se aktivuje brzdění vozidla.
- Panel doplňkové brzdy (B): Na panelu jsou umístěny obvody pro řízení součinnosti samočinné brzdy, doplňkové a elektrodynamické. Je v něm umístěna celá řada

ventilů. Pro funkci samočinné brzdy jsou podstatné tyto ventily: elektropneumatický ventil blokování brzy YV86, bezpečnostní ventil VP, tlakový spínač SP7, snímač tlaku BP4.

- Elektropneumatický ventil blokování brzdy YV86: V případě, že lokomotiva brzdí elektrodynamickou brzdou, je ventilem uzavřen přívod vzduchu od brzdového rozvaděče do tlakových relé. Při nouzovém brzdění lokomotivy se ventil otevře a plní tlaková relé na plný tlak. Otvírání a zavírání ventilu je řízeno řídicím systémem lokomotivy.
- Bezpečnostní ventil VP: K funkci bezpečnostního ventilu dojde v případě, že nastane porucha na elektropneumatickém ventilu blokování brzdy YV86. V případě poruchy se ventil YV86 obejde přes záchranný VP ventil, který propojí rozvaděč s tlakovými relé.
- Tlakový spínač SP7: Dává řídicímu systému informaci o tom, že lokomotiva brzdí samočinnou brzdou. Sepne se při tlaku 0,3 bar a rozezne se při tlaku 0,2 bar.
- Snímač tlaku BP4: Předává analogovou informaci o tlaku řídicímu systému.
- Rozváděcí vzduchové potrubí k brzdovým válcům: Rozváděcí vzduchové potrubí přivádí stlačený vzduch do brzdových válců. Je vedeno pomocí ocelových trubek a hadicových spojek. Propojení pomocí pružných hadicových spojek je mezi hlavním rámem lokomotivy a rámem podvozku a mezi podvozkem a brzdovou jednotkou

- Prvky příslušenství rozvodu pneumatického okruhu brzdy

K rozvodu stlačeného vzduchu k místu spotřeby jsou do obvodu brzdy vřazeny přístroje, které slouží k čištění vzduchu, vedení vzduchu, úpravě tlaku vzduchu, jištění nepřekročení tlaku vzduchu a měření vzduchu.

Značka	Název a funkce
	Prachojem zachycuje těžší částice, které jdou od stlačeného vzduchu kompresoru směrem k přístrojům a zařízením.
	Filtry, čističe vzduchu, slouží k odstranění jemných nečistot na odbočkách hlavního potrubí před přístroji.
	Jednosměrný ventil dovoluje průchod vzduchu pouze jedním směrem. Při opačném průchodu se samočinně uzavře.
	Dvojitá zpětná záklopka propojuje dva potrubní obvody. Na výstupu je to potrubí, které má větší tlak, přičemž vzduch může proudit i oběma směry.
	Kohout k uzavírání nebo otevírání vstupů do brzdových nebo přístrojových obvodů a k vypouštění kondenzátu nahromaděného v odvodňovacích prostorech.
	Upravovač tlaku slouží k regulaci tlaku za prvkem (ve směru šipky) na požadovanou hodnotu.
	Pojistný ventil brání proti překročení maximálního provozního tlaku ve výtlačném potrubí kompresoru a hlavních vzduchojemech.

- Průtokoměr (43): Nachází se na přívodní větvi napájecího potrubí do brzdiče. Jeho funkcí je signalizovat stav, při němž dochází k nadměrnému průtoku vzduchu brzdičem (více než 1 150 litrů/minutu)
- Manometry (63/1,63/2): Manometry jsou umístěny na pultu strojvedoucího a slouží k zobrazování tlaku vzduchu v hlavních vzduchojemech, tudíž v napájecím potrubí (červená ručička). Zobrazuje i tlak v hlavním potrubí (žlutá ručička).
- Hadicové spojky: V obvodu samočinné brzdy jsou hadicové spojky k rozvodu stlačeného vzduchu použity tam, kde by vedení potrubím nebylo možné nebo technicky obtížné. Hadicové spojky jsou na obou stranách zakončeny šroubením.

- Spojkové kohouty (56/1-4): Spojkové kohouty AKH uzavírají hlavní a napájecí potrubí na čelech vozidla. Hrdla jsou opatřena závitem pro našroubování brzdových spojek. Spojkový kohout a hlavice hlavního potrubí jsou natřeny červenou barvou. Spojkové kohouty a hlavice napájecího potrubí mají žlutou barvu.
- Brzdové spojky (59/1-4): Brzdové spojky slouží k propojení samočinné brzdy mezi hnacím vozidlem a přípojnými vozy. Vyrábějí se ve dvou provedeních. Spojka pro propojení hlavního potrubí má normální hlavici, zatímco spojka napájecího potrubí má hlavici zrcadlově otočenou.

### 2.1.1 Doplnkové funkce brzdových systémů

Do pneumatické části samočinné brzdy musíme zařadit i ty části, které s funkcí samočinné brzdy nesouvisí, ale jejich porucha přímo ovlivňuje pneumatický okruh brzdy. Takovou částí jsou panely doplňkových funkcí brzdy v jejichž napájecím okruhu se nachází hadicové spojky. Porušení těchto hadicových spojek by znamenalo únik vzduchu napájecího potrubí. Panely doplňkových funkcí:

- Panel pískování (C, D): Na pokyn strojvedoucího je na elektropneumatické ventily přivedeno napětí, které otevře ventily a zahájí pískování příslušného dvojkolí.
- Panel houkaček a píšťaly (96/1, 96/2): Zvukové návěsti jsou dávány prostřednictvím houkaček a píšťal, do kterých je přes elektropneumatické ventily vpouštěn vzduch z napájecího potrubí.

## 2.2 Elektrické řízení samočinné brzdy

Elektricky řízená samočinná brzda je ovládána brzdičem DAKO – BSE2, který je osazen šesti ventily. Spínání konkrétních ventilů se realizuje prostřednictvím zvolené polohy ovladače samočinné brzdy na pultu stanoviště strojvedoucího, popřípadě na pokyn řídicího systému lokomotivy NR1. Správná funkce elektrických obvodů brzdiče je pro řízení hnacího vozidla klíčová. Dalším důležitým elektrickým obvodem brzdy je obvod bezpečnostních ventilů vlakového zabezpečovače a obvod napájení kompresoru na jehož funkčnosti závisí dodávka vzduchu pro pneumatickou výzbroj.

### 2.2.1 Napájení brzdících ventilů na panelu brzdiče BSE

Brzdící ventily, ventil provozního brzdění (YV61) a ventil rychločinného brzdění (YV65), jsou napájeny jističi z kabiny strojvedoucího. Napájení obou ventilů je odlišné. Ventily jsou spínány prostřednictvím ovladače samočinné brzdy, tlačítka nouzového stopu nebo řídicího systému lokomotivy.

Ventil provozního odbrzdění (YV62) je napájen ze stejného jističe, jako ventil provozního brzdění (YV61), a je spínán na pokyn ovladače samočinné brzdy.

- Ovladač samočinné brzdy (61/1,61/2): Nachází se na panelu strojvedoucího a prostřednictvím změny jeho polohy spíná jednotlivé ventily brzdíče DAKO-BSE2. Ovladač spíná jednotlivé ventily samočinné brzdy. Kontakty ovladačů samočinné brzdy jsou zapojeny do série, takže zavést rychločinné brzdění lze z jakéhokoliv ovládacího pultu.
- Tlačítko nouzového stopu (SB113,213): Slouží k aktivaci nouzového brzdění z aktivního i neaktivního pultu.
- Řídicí systém lokomotivy (NR1): Řídicí systém je umístěn mezi ovladačem samočinné brzdy a jednotlivými ventily. Slouží k automatickému ovládání ventilů samočinné brzdy.
- Obvod ventilu provozního brzdění (YV61): Kontakt relé provozní brzdy (KR105) po přivedení napájecího napětí na cívku relé nebo stisku nouzového tlačítka přeruší napájení ventilu provozního brzdění (YV61) a hnací vozidlo začne brzdit.
  - Jistič (FA12): Napájecí jistič slouží k ovládání obvodů samočinné brzdy.
  - Relé aktivace stanoviště (KR1, KR2): Relé zabezpečují, že lze ovládat samočinnou brzdou pouze z aktivního pultu strojvedoucího.
- Obvod ventilu rychločinného brzdění (YV65): Inverzní ventil rychločinného brzdění je ovládán výstupem řídicího systému lokomotivy (NR1), který je řízen kontakty ovladače samočinné brzdy (SM). Do obvodu je kromě tlačítek nouzového vstupu zapojeno kontaktní relé nouzového stopu spalovacího motoru (KR40).
  - Jistič (FA13): Napájecí jistič ovládání obvodu brzdy a rychlobrzdy (napájení ventilu rychločinného brzdění YV65).
  - Relé nouzového stopu (KR40): Relé aktivuje po stisku tlačítka nouzového stopu obvod ventilu rychločinného brzdění (YV65).
- Obvod ventilu odbrzdění (YV62): Obvod je napájen přes jistič (FA12) a lze ho ovládat pouze z aktivního stanoviště, což zajišťuje relé (KR1, KR2). Aby bylo možné prostřednictvím ventilu YV62 lokomotivu odbrzdit, nesmí být v poruše ventily švihů (YV64) a přebití (YV63) včetně jejich konektorů.

### 2.2.2 Napájení bezpečnostních ventilů vlakového zabezpečovače

K aktivaci bezpečnostních ventilů dojde po přivedení napětí na řídicí jednotku vlakového zabezpečovače, která spustí brzdění vlaku. Bezpečnostní ventily jsou umístěny

na panelu vlakového zabezpečovače (110), který je připojen k hlavnímu potrubí a nachází se v prostoru ventilátoru chlazení trakčních motorů 1. podvozku.

Obvod inverzních bezpečnostních ventilů E1, E2 tvoří:

- Jistič (FA33): Napájecí jistič panelu bezpečnostních ventilů vlakového zabezpečovače.
- Měnič PWR1: Elektrické zařízení slouží ke změně napětí v soustavě.
- Jednotka VZ: Zaznamená a následně zobrazí návěstní znak do kabiny strojvedoucího.
- Řídící jednotka VZ: Zpracovává informace z jednotky VZ a v případě nesouladu informací odpojí napájení bezpečnostních ventilů a zahájí rychločinné brzdění vlaku.

### 2.2.3 Napájení kompresoru

Vzduch do hlavních vzduchojemů dodává lamelový kompresor poháněný elektromotorem MV21. Elektromotor je napájen ze střídače GS1<sub>R3</sub>, který je součástí elektrického rozvaděče pomocných pohonů. Ke spínání kompresoru dochází na základě informace o výši tlaku z tlakového spínače BP2. Poklesne-li tlak v hlavních vzduchojemech pod 7,5 bar, je po CAN lince předána informace k sepnutí střídače.

Obvody kompresoru jsou vybaveny dvěma teplotními snímači. Teplotním snímačem přehřátí oleje kompresoru ST5 a teplotním snímačem přehřátí vzduchu kompresoru ST6. Snímače jsou zapojeny na vstup řídicího systému lokomotivy NR1. Každý snímač je nastaven na vlastní hodnotu teploty a dojde-li k její překročení, spínač se rozezne. Informace o rozepnutí kontaktu je předána do řídicí jednotky NR1 a jednotka dá povel k zastavení kompresoru.

Chlazení stlačeného vzduchu a mazacího oleje kompresoru se provádí prostřednictvím kombinovaného chladiče kompresoru. Chladič je ochlazován ventilátorem, který je poháněn elektromotorem MV20. Elektromotor je napájen po sepnutí kontaktů stykače KM48. Stykač je spínán jednotkou NR12 na základě informací z teplotních snímačů ST5, ST6.

## 2.3 Propojovací elektrické prvky

Do všech popsaných elektrických obvodů jsou vřazeny propojovací elektrické prvky v podobě konektorů a svorkovnic různých typů.

- Svorkovnice: Zajišťuje rozebíratelné propojení více vodičů.
- Konektor je elektronická součástka sloužící k propojení dvou vodičů.



### 3. Identifikace a hodnocení nebezpečí v souvislosti s požární bezpečností vybraného okruhu brzdy

#### 3.1 Jízdní způsobilost a klasifikace požáru

Požadavky na jízdní způsobilost v případě požáru drážního vozidla stanovuje norma ČSN EN 50 553. Dle normy se neuvažuje výskyt více požárů současně, ale pouze výskyt jednotlivých požárů. Na začátku analýzy se předpokládá, že se vozidlo nachází v provozuschopném stavu. Při definování požárů na jízdní způsobilost se musí brát v úvahu, zda zastavení hořícího vlaku není případem ohrožení života. Proto je nutné definovat požadavky na jízdní způsobilost vozidla pro ty požáry, které by mohly vést k vážnému zranění nebo ohrožení života.

Norma klasifikuje požáry do tří základních typů:

##### Požár typu 1

Požáry tohoto typu nepředstavují žádné velké riziko, nepovažují se za dostatečně velké a nepředstavují riziko šíření požáru. Pro ten typ požáru neexistují žádné požadavky na jízdní způsobilost.

##### Požár typu 2

Mezi požáry typu 2 se například řadí požáry motorové nafty a závažné případy žhářství. Požáry tohoto typu představují významné riziko a jejich rozsah je takový, že je možné definovat požadavky na ochranu funkcí vlakových systémů. U těchto požárů se musí dát zajistit definovaná úroveň jízdní způsobilosti. U požárů typu 2 je jízdní způsobilost definována pro určité stavy.

##### Požár typu 3

Požáry vzniklé na základě žhářských útoků nejvyššího stupně nebo katastrofického selhání funkce palivových soustav. Požáry tohoto typu představují největší riziko a jsou v takovém rozsahu, že je není možné definovat požadavky, které by měly zajistit jízdní způsobilost. Možnost vzniku požáru typu 3 vyžaduje přijetí opatření požáru typu 2. Opatření typu 2 bude považováno za přínos při vzniku požáru 3, i když přínos nebude na definované úrovni. Pro požár typu 3 neexistují žádné požadavky na jízdní způsobilost.

#### 3.1.1 Požadavky na systémovou funkci samočinné brzdy

Jízdní způsobilost drážního vozidla v případě požáru se vyznačuje zejména správnou činností systémové funkce samočinné brzdy. Tato funkce nesmí být požárem po stanovenou dobu, v tomto případě 15 min., nikterak ovlivněna. Norma proto jasně definuje konkrétní

požadavky, kterým musí systémová funkce vyhovovat. Proto se musí provést analýza, která odhalí části stávajícího systému, které nesplňují požadavky normy.

Analýza spočívá v posouzení jednotlivých částí systémové funkce. Aby mohly být jednotlivé části funkce považovány za vyhovující musí splňovat následující kritéria.

- Kabely [6]

Shoda kabelů související s uvažovanou systémovou funkcí pro jízdní způsobilost je zajištěna, pokud jsou splněny následující podmínky:

- kabely si zachovají celistvost obvodu po dobu 15 min. podle EN 50362, EN 50200 nebo na základě prokázání zkoušky IEC 60331-3
- kabely mají takovou tepelnou ochranu, že si celistvost obvodů v sestavě týkající se jízdní způsobilosti zachovají po dobu 15 min. podle EN 50200, EN 50362

- Pneumatická zařízení

Shoda hadic souvisejících s uvažovanou systémovou funkcí pro jízdní způsobilost je zajištěna, pokud je splněna následující podmínka:

- hadice vykazují požární odolnost 15 min. dle EN ISO 15540

Pro zajištění shody musí brzdový systém, přípojky, šroubení a potrubí vyhovovat požadavkům technického oddílu.

- povrch technického oddílu napadeného požárem je vyhovující, pokud splňuje E15, I15 dle EN 45545-3

Vzduchojem, který má vliv na funkci systémové funkce samočinné brzdy, musí být funkční během požáru. Požadavek se považuje za splněný, pokud je splněno:

- vzduchojem je chráněn ohnivzdornou přepážkou, jejíž technický oddíl splňuje E15, I15 dle EN 45545-3
- vzduchojem na základě zkoušky nebo posouzení prokázal, že v případě požáru typu 2, bude mít nižší provozní teplotu, než je jeho maximální provozní teplota, nebo prokázal schopnost uchovávat vzduch při požáru tohoto typu [6]

Vysvětlení požadavků kritérií E15, I15 dle EN 45545-3:

Část EN 45545-3 udává požadavky na požární odolnost a zkušební metody požárních zábran drážních vozidel. Podle této části jsou vysvětlena následující kritéria:

- Kritérium integrity E – kritérium, podle kterého se hodnotí schopnost oddělovacího prvku bránit průnik plamenů a horkých plynů. Kritérium E15 znamená, že integrita má výdrž 15 minut.

- Izolační kritérium I – podle kterého se hodnotí tepelná izolace. Přenos tepla musí být omezen tak, aby nedošlo ke vznícení nenapadnuté strany ani materiálu v těsné blízkosti vznícené strany. Kritérium I15 udává, že izolace má výdrž 15 minut.

### 3.1.2 Analýza systémové funkce samočinné brzdy

Na základě výše uvedených požadavků byla na hnacím vozidle provedena analýza jednotlivých prvků a prostorů. Analýza poukázala na problematické části, které nesplňují normu ČSN EN 50 553 a jejich poškození požárem by mělo nepříznivý dopad na funkci samočinné brzdy. Při tvorbě analýzy se neuvažuje současný protipožární systém automatické detekce a likvidace požáru. Proto se prostor s rozvaděčem pomocných pohonů R1 a R3, z kterého je napájen kompresor, považuje za nechráněný.

V tabulce 3.1 jsou přehledně zaznamenány části systémové funkce a technické oddíly, které jsou v souladu s požadavky normy a které nikoli. Tabulka obsahuje i krátký popis.

Tabulka 3.1 Tabulka analýzy požadavků

Analýza jednotlivých prvků, částí samočinné brzdy		
Prvek, povrch, prostor	Splňuje požadavky	Popis
Kabely	✗	Stávající ochrana kabelů nezaručuje jejich celistvost dle EN 50 362, EN 50 200.
Hlavní a napájecí potrubí	✓	Potrubí tvořeno ocelovými bezešvými trubkami. Výrobek vyhovuje rozhodnutí komise 96/603/ES.
Hadicové spojky v okruhu napájecího a hlavního potrubí	✗	Nesplňují požární odolnost dle EN ISO 15540.
Brzdové spojky na čele lokomotivy	✗	Nesplňují požární odolnost dle EN ISO 15540.
Hadicové spojky rozváděcího vzduchového potrubí k brzdovým válcům	✓	Splňují požární odolnost dle EN ISO 15540.
Šroubení	✓	Šroubení je v provedení kov na kov. Vyhovuje.
Povrch technického oddílu: pneumatický blok	✗	Není chráněn žádnou přepážkou. Nesplňuje EN 45545–3.
Povrch technického oddílu: skříň vlakového zabezpečovače	✗	Skříň vlakového zabezpečovače neprokázala, že splňuje EN 45545–3. Proto je považována za nevyhovující.
Povrch technického oddílu: panel vlakového zabezpečovače 110	✗	Kryt, kterým je opatřen vlakový zabezpečovač, neprokázal, že splňuje EN 45545–3, proto je považován za nevyhovující.
Povrch kabiny	✗	I přesto, že je kabina opálena protipožárními příčkami, nejsou chráněny elektrické prvky a hadice v tomto prostoru. To je způsobeno tím, že průchody v příčkách nebo podlaze, kterými jsou vedeny kabely a potrubí, nevyhovují normě EN 45545–3, a proto může plamen vniknout do těchto prostor přes tyto průchody.
Vzduchojemy – vnější	✓	Vnější vzduchojemy lze považovat za vyhovující, protože: 1. Povrch vzduchojemu splňuje požární integritu E15. 2. Vzduchojemy jsou opatřeny pojišťovacím ventilem, který brání proti překročení maximálního provozního tlaku v hlavních vzduchojemech.
Vzduchojemy – vnitřní	✗	Povrch vnitřních vzduchojemů splňuje požární integritu E15, ale chybí ochrana proti překročení maximálního tlaku vzduchojemů.
Povrch technického oddílu: blok kompresoru	✗	Není chráněn žádnou přepážkou. Nesplňuje EN 45545–3.
Povrch technického oddílu: Rozvaděč pomocných pohonů R1 a R3	✗	Není chráněno.

### 3.2 Analýza rizika

Analýza rizika – nebezpečí představuje proces, který vede k odhalení budoucího vzniku nežádoucích událostí tzv. rizik. Míra rizika vzrůstá s rostoucí četností a závažností důsledků nebezpečných událostí. Závažnost důsledků je posuzována dle počtu ohrožených osob, míry zranění osob, smrti osob, míry poničení životního prostředí nebo ekonomických následků.

Cílem analýzy rizika je stanovit úroveň nebezpečí selhání funkce samočinné brzdy v případě požárů a následně zavést taková opatření, která povedou ke zmírnění těchto nebezpečí na přijatelnou úroveň. Při posuzování analýzy rizika se uvažují tři nebezpečné stavy systémové funkce samočinné brzdy, které mohou v případě požárů na hnacím vozidle nastat.

H1 – Lokomotiva v případě požáru začne brzdít nevyžádaně.

H2 – Lokomotiva v případě požáru nebrzdí

H3 – Stojící lokomotiva v případě požáru nejde odbrzdít.

H4 – Stojící lokomotiva v případě požáru nevyžádaně odbrzdí.

#### 3.2.1 Posouzení nebezpečí

Jednotlivá nebezpečí budou posuzována na základě analýzy rizika dle normy pro drážní zařízení ČSN EN 50 126. Rizika budou posuzována podle četnosti výskytu nebezpečných událostí a úrovně závažnosti nebezpečí. Na základě těchto posouzení se provede hodnocení a přijetí rizika.

##### 1) Četnost výskytu nebezpečných událostí

Posuzuje se, s jakou pravděpodobností nastanou nebezpečné stavy selhání systémové funkce na hnacím vozidle v důsledku vzniku požáru, a posuzuje(odhaduje)se četnost výskytů těchto událostí během životního cyklu.

Tabulka 3.2 Četnost výskytu nebezpečných událostí [8]

Kategorie	Popis
Častá	Je pravděpodobný častý výskyt. Nebezpečí je trvalé.
Pravděpodobná	Vyskytnou se několikrát. Lze očekávat, že nebezpečí nastane často.
Občasná	Pravděpodobně se vyskytnou několikrát. Lze očekávat, že nebezpečí nastane několikrát.
Malá	Pravděpodobně se vyskytnou někdy během životního cyklu systému. Je rozumné předpokládat, že nebezpečí nastane.
Nepravděpodobná	Výskyt je nepravděpodobný, ale možný. Lze předpokládat, že nebezpečí může výjimečně nastat.
Vysoce nepravděpodobná	Výskyt je krajně nepravděpodobný. Lze předpokládat, že nebezpečí nemusí nastat.

Protože není k dispozici potřebné množství dat z provozu o poruchovosti brzdového systému, zvolila se při posuzování četností výskytu nebezpečných událostí pro první tři nebezpečné stavy H1, H2 a H3 malá pravděpodobnost výskytu. Podle zásad se volba nižší kategorie nedoporučuje, aby nedošlo k podhodnocení výskytu rizika.

Pro nebezpečí H4, stojící lokomotiva v případě požáru nevyžádaně odbrzdí, byla zvolena vysoce nepravděpodobná četnost výskytu. Aby došlo k úplnému odbrzdění lokomotivy, muselo by dojít k požáru na obou podvozcích a k přehoření všech čtyř hadicových spojek rozváděcího potrubí k brzdovým válcům mezi rámem lokomotivy a podvozkem. Popřípadě současné porušení obou zásobních vzduchojemů 23, 24. Na základě uvedených skutečností a normy ČSN EN 50 553, která uvažuje požár pouze na jednom místě, se výskyt událost považuje za krajně nepravděpodobný.

## 2) Úroveň závažnosti nebezpečí

Při určování závažnosti nebezpečných událostí se posuzuje, jaký dopad by měla jednotlivá nebezpečí na osoby a životní prostředí v případě, že by k nim skutečně došlo.

Tabulka 3.3 Úroveň závažnosti nebezpečí [8]

Úroveň závažnosti	Důsledky pro osoby nebo pro životní prostředí	Důsledky pro provoz
Katastrofická	Oběti na životech a/nebo mnoho vážných zranění a/nebo těžké poškození životního prostředí.	
Kritická	Jedno úmrtí a/nebo vážné zranění a/nebo významné poškození životního prostředí.	Ztráta důležitého systému
Okrajová	Lehčí zranění a/nebo významné poškození životního prostředí.	Vážné poškození systému (systémů)
Nevýznamná	Možné lehčí zranění.	Malé poškození systému

Pro jednotlivá nebezpečí byla zvolena úroveň závažnosti následovně:

H1. Lokomotiva brzdí v případě požáru nevyžádaně – kritická úroveň závažnosti

Musí se předpokládat, že k nevyžádanému brzdění může dojít na nebezpečných místech nebo těžko přístupných místech pro evakuaci. Za tato místa se považují zejména tunely a mosty. Nevyžádané brzdění v těchto místech by tak mohlo skončit úmrtím nebo vážným zraněním.

H2. Lokomotiva v případě požáru nebrzdí – katastrofická úroveň závažnosti

Při selhání systémové funkce hrozí riziko vzniku nehody. V tomto případě se předpokládá, že může dojít ke ztrátám na životech či vážným zraněním osob.

H3. Stojící lokomotiva v případě požáru nejde odbrzdit – okrajová úroveň závažnosti

Případ, kdy stojící vozidlo nelze odbrzdit, by mohl vést k lehčímu zranění nebo vážnému ohrožení životního prostředí.

H4. Stojící lokomotiva se v případě požáru nevyžádaně odbrzdí – katastrofická úroveň závažnosti

Při nevyžádaném rozjezdu hořícího vozidla hrozí riziko vzniku nehody. Může dojít k obětem na životech nebo k mnoha vážným zraněním.

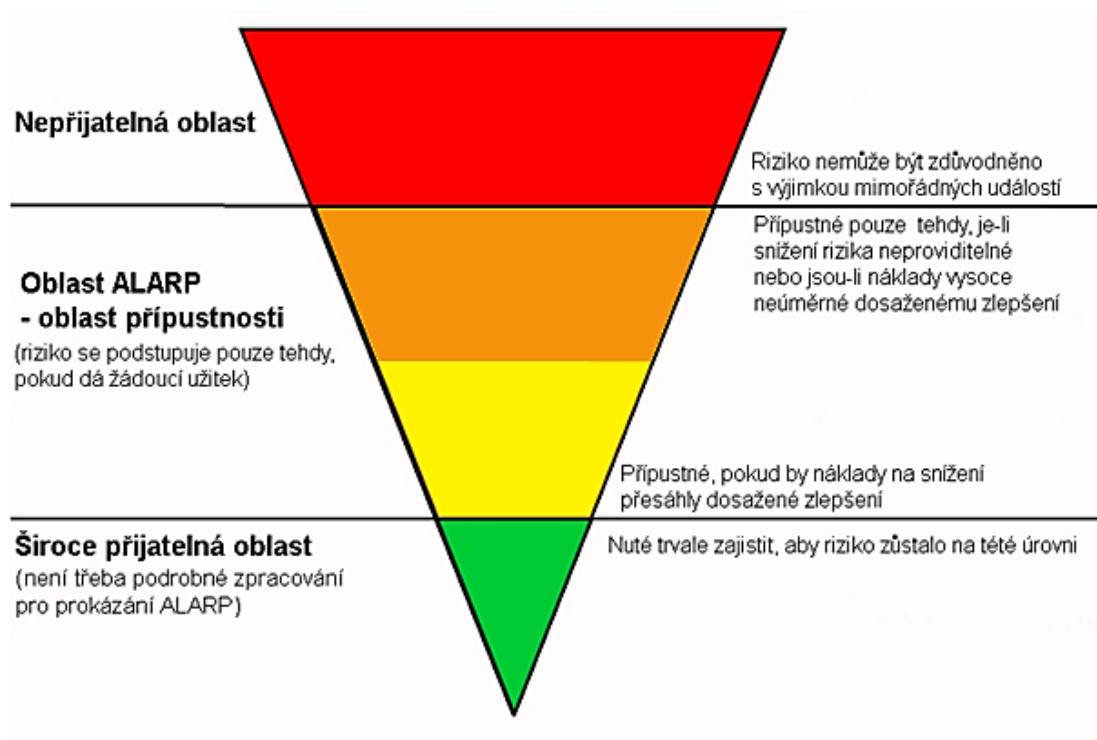
### 3) Hodnocení a přijetí rizika

Hodnocení výsledků analýzy rizika vychází se sestavení matice četností a následků. Riziko se hodnotí kombinací četnosti výskytů nebezpečných událostí s mírou závažnosti jejich následků. Tím se stanoví úroveň rizika způsobeného nebezpečnou událostí.

Tabulka 3.4 Matice četností – následků

Úroveň četnosti	Úroveň rizika			
Častá				
Pravděpodobná				
Občasná				
Malá		Lokomotiva nejde odbrzdit	Lokomotiva brzdí nevyžádaně	Lokomotiva nebrzdí vůbec
Nepravděpodobná				
Vysoce nepravděpodobná				Stojící lokomotiva se v případě požáru nevyžádaně odbrzdí
	Nevýznamná	Okrajová	Kritická	Katastrofická
	Úroveň závažnosti následků nebezpečí			

Přijetí rizika vychází ze všeobecně uznávaných metod, zde bude použita metoda ALARP. Metoda hodnocení rizika ALARP vychází z kategorizace rizika do tří skupin: rizika nepřijatelně velkého, rizika zanedbatelně malého a oblasti rizika vymezeného uvedenými hraničními hodnotami. Právě toto rozmezí představuje oblast ALARP, tj. riziko na nejnižší rozumně proveditelné úrovni, ALARP – as low as reasonably practicable. Cílem této metody je snížení rizika na nejnižší možnou úroveň, s přihlédnutím k přínosům plynoucím z přijetí rizika a nákladům spojeným se snížením rizika ve vztahu k dosaženému zlepšení bezpečnosti [9] Princip metody zobrazuje obrázek 4.



Obrázek 4 Koncept metoda Alarp

Praktickou aplikací koncepce ALARP představuje hodnocení rizika s využitím tříd rizika, vycházející z principu kategorizace možných následků nebezpečných událostí a jejich předpokládané četnosti. Viz. Tabulka 3.4 [9]

Kvalitativní kategorie rizika představuje úroveň závažnosti rizika, na jehož základě jsou provedena opatření. Kvalitativní kategorie rizika máme následující:

Nepřípustné	Musí být odstraněno.
Nežádoucí	Smí být přijato pouze tehdy, jestliže je snížení rizika prakticky nedosažitelné a se souhlasem provozovatele dráhy nebo řídicího orgánu pro otázky bezpečnosti, podle okolností.
Přípustné	Lze ho přijmout při přiměřené kontrole a se souhlasem provozovatele dráhy.
Zanedbatelné	Lze ho přijmout se souhlasem/bez souhlasu provozovatele dráhy.



Tabulka 3.5 Tabulka hodnocení a přijetí rizika [8]

Četnost výskytu nebezpečných událostí	Úroveň rizika			
	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
Častá	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
Pravděpodobná	Přípustné	Nežádoucí	Nepřípustné	Nepřípustné
Občasná	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí	Nepřípustné
Malá	Zanedbatelné	Přípustné	Nežádoucí	Nežádoucí
Nepravděpodobná	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Přípustné	Přípustné
Vysoce nepravděpodobná	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Zanedbatelné	Zanedbatelné
	Nevýznamná	Okrajová	Kritická	Katastrofická
	Úroveň závažnosti následků nebezpečí			

Výsledky analýzy rizika jsou v Tabulka 3.6 Analýza rizika. Z výsledné analýzy vyplývá, že nežádoucí stupeň rizika představuje nebezpečí H1 a H2. Nebezpečí H3 má přípustnou úroveň rizika. Nebezpečí H4 bylo na základě analýzy ohodnoceno jako nebezpečí se zanedbatelnou úrovní rizika, a proto je považováno za přijatelné a nebude dále řešeno. Pro nebezpečí H1 – H3 se provedou další analýzy a zavedou potřebná opatření, která povedou ke snížení úrovně rizika.

Tabulka 3.6 Analýza rizika

Analýza rizika						
No.	Nebezpečí - událost	Následky nebezpečí - popis nebezpečí	Četnost výskytu nebezpečných událostí	Popis	Úroveň závažnosti	Úroveň rizika
H1	Lokomotiva příčinou požáru brzdí nevyžadaně	Smrt člověka. K nevyžadanému zabrzdění dojde na nebezpečných místech nebo těžko přístupných místech pro evakuaci. Za tato místa považujeme tunely, mosty.	malá	Pravděpodobně se vyskytne někdy během životního cyklu systému. Je rozumné předpokládat, že nebezpečí nastane.	Kritická	Nežádoucí
H2	Lokomotiva příčinou požáru nebrzdí vůbec	Oběti na životech nebo mnoho vážných zranění. Riziko vzniku nehody.	malá	Pravděpodobně se vyskytne někdy během životního cyklu systému. Je rozumné předpokládat, že nebezpečí nastane.	Katastrofická	Nežádoucí
H3	Stojící lokomotiva v případě požáru nejde odbrzdit	Lehčí zranění nebo vážné poškození životního prostředí.	malá	Pravděpodobně se vyskytne někdy během životního cyklu systému. Je rozumné předpokládat, že nebezpečí nastane.	Okrajová	Přípustná
H4	Stojící lokomotiva se v případě požáru nevyžadaně odbrzdí	Oběti na životech nebo mnoho vážných zranění. Riziko vzniku nehody.	vysoce nepravděpodobná	Výskyt je krajně nepravděpodobný. Lze předpokládat, že nebezpečí nemusí nastat.	Katastrofická	Zanedbatelná

## 4. Identifikace rizik s využitím FTA a FMEA analýzy

Následující kapitola vychází z výsledků analýzy rizika. Výsledky poukázaly na nebezpečné stavy, které budou dále rozvíjeny pomocí analýzy stromu poruch FTA. Na základě analýzy FTA se provede metoda FMEA. Metoda se zabývá způsobem vzniku poruch, jejich důsledků, hodnocení a zmírnění.

### 4.1 Analýza stromu FTA [9]

Analýza stromu poruchových stavů (FTA – Fault Tree Analysis) je metodou speciálních orientovaných grafů. Strom poruch představuje logický diagram, který znázorňuje logické vztahy mezi potenciální vrcholovou událostí (tzv. top event) a mezi příčinami vzniku tohoto jevu. Správně sestrojený strom poruch reprezentuje všechny kombinace poruch prvků a poruchových jevů, které mohou nastat a které mohou vést ke vzniku vrcholového jevu. Vrcholovou událost může představovat událost znamenající začátek vzniku nebezpečných podmínek nebo událost představující neschopnost systému plnit požadované funkce.

FTA představuje deduktivní metodu. Rozvíjí se od vrcholové události k dalším jevům nižší úrovně, přičemž se posuzují možné příčiny vzniku nadřazeného poruchového jevu.









Vrcholová událost představuje poruchu systému, tedy stav, kdy systém nemůže plnit požadované funkce. Strom poruch je rozvíjen směrem k subsystémům, objektům a prvkům systému, jejichž porucha způsobuje vrcholovou událost.

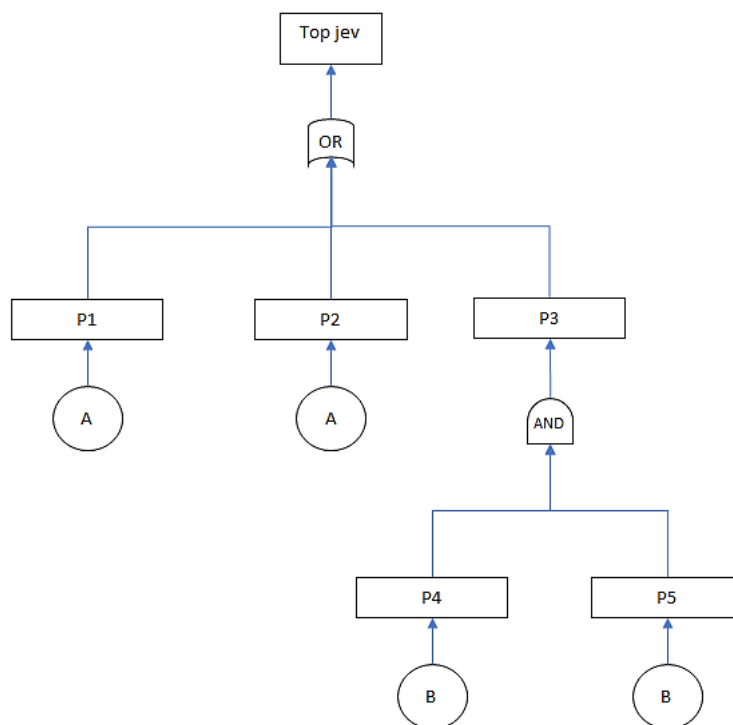
#### 4.1.1 Konstrukce stromu poruch

Sestavení stromu poruch vychází z vrcholové události a strom je postupně rozvíjen hledáním příčin této nežádoucí události. Od poruchy systému je strom poruch rozvíjen k nižším úrovním systému (např. subsystémům), které jsou ve stromu poruch označovány jako meziudálosti. Od meziudálosti je strom dále rozvíjen až k primárním událostem (např. poruchy prvků systému), které nelze dále rozvíjet, je možné kvantifikovat jejich pravděpodobnost a jsou vzájemně nezávislé. [9].

Ve stromě poruch se používá grafické značení jednotlivých událostí a logických operací. Logické operace se značí pomocí hradel, které slouží k rozvoji stromu poruch od vrcholových událostí až k primárním událostem. Grafické značky, které byly použity ve stromě poruch jsou znázorněny v tabulce 4.1. Příklad grafického znázornění stromu poruch je na Obrázek 5.

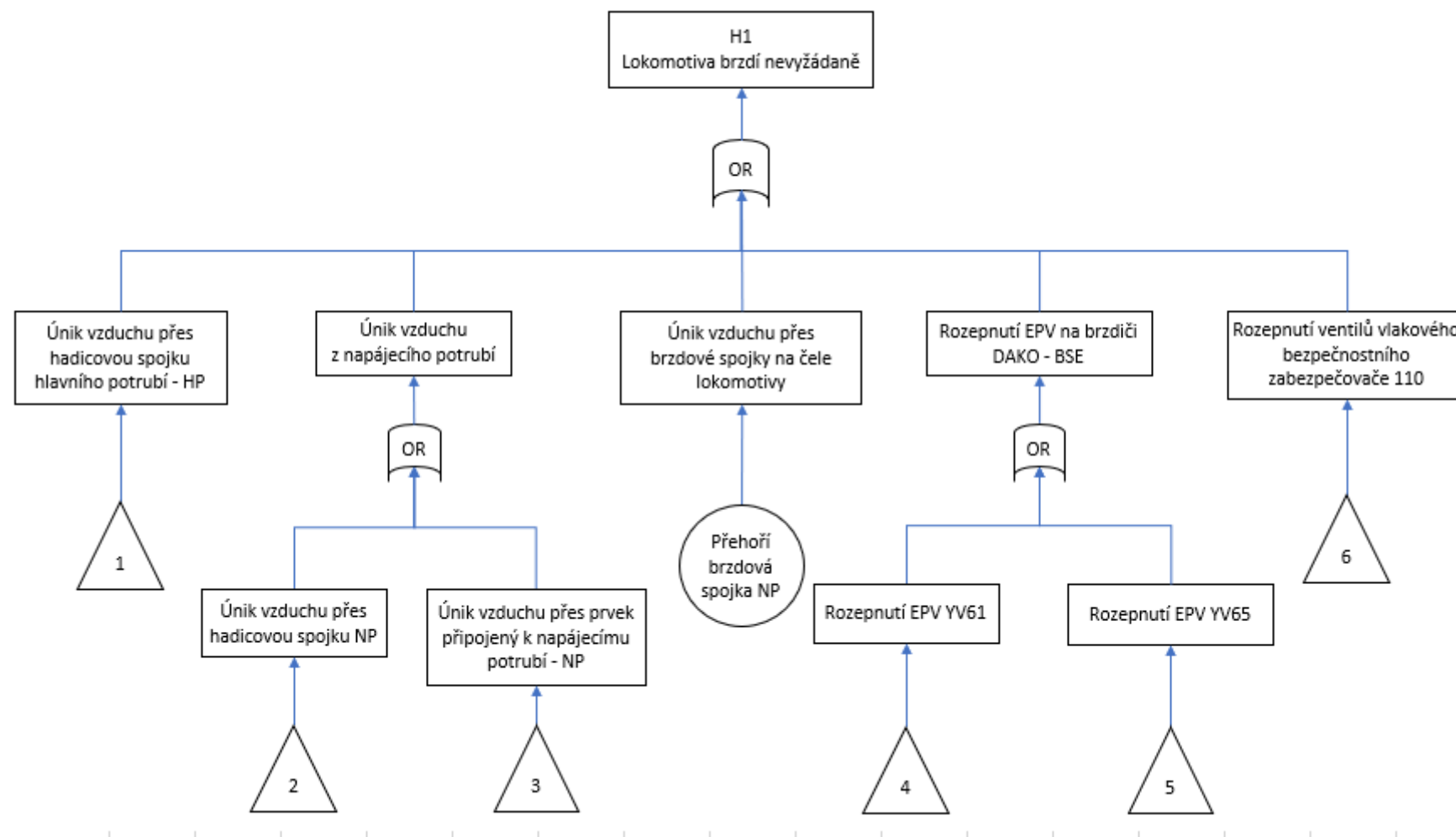
Tabulka 4.1 Název a popis jednotlivých značek vyskytujících se ve stromě poruch

Značka	Název a popis
	Vrcholová událost – událost nebo nebezpečí tzv. top jev.
	Meziudálost – událost je dále rozvíjena až k primární události.
	Primární událost – událost, která se dále nerozvíjí. Může se u ní stanovovat pravděpodobnost vzniku poruchy.
	Přenos do – událost je dále rozvinuta v samostatném stromě poruch.
	Přenos ven – opakovaná událost použitá kdekoli ve stromě poruch.
	Nerozvíjená událost – událost není dále rozvíjena, protože to její povaha nevyžaduje nebo událost není předmětem šetření.
	Hradlo OR – logický součet. Výstupní událost nastane, když nestane jedna z $n$ vstupních událostí nebo jejich kombinace.
	Hradlo AND – logický součin. Výstupní událost nastane, když nastanou všechny vstupní události.

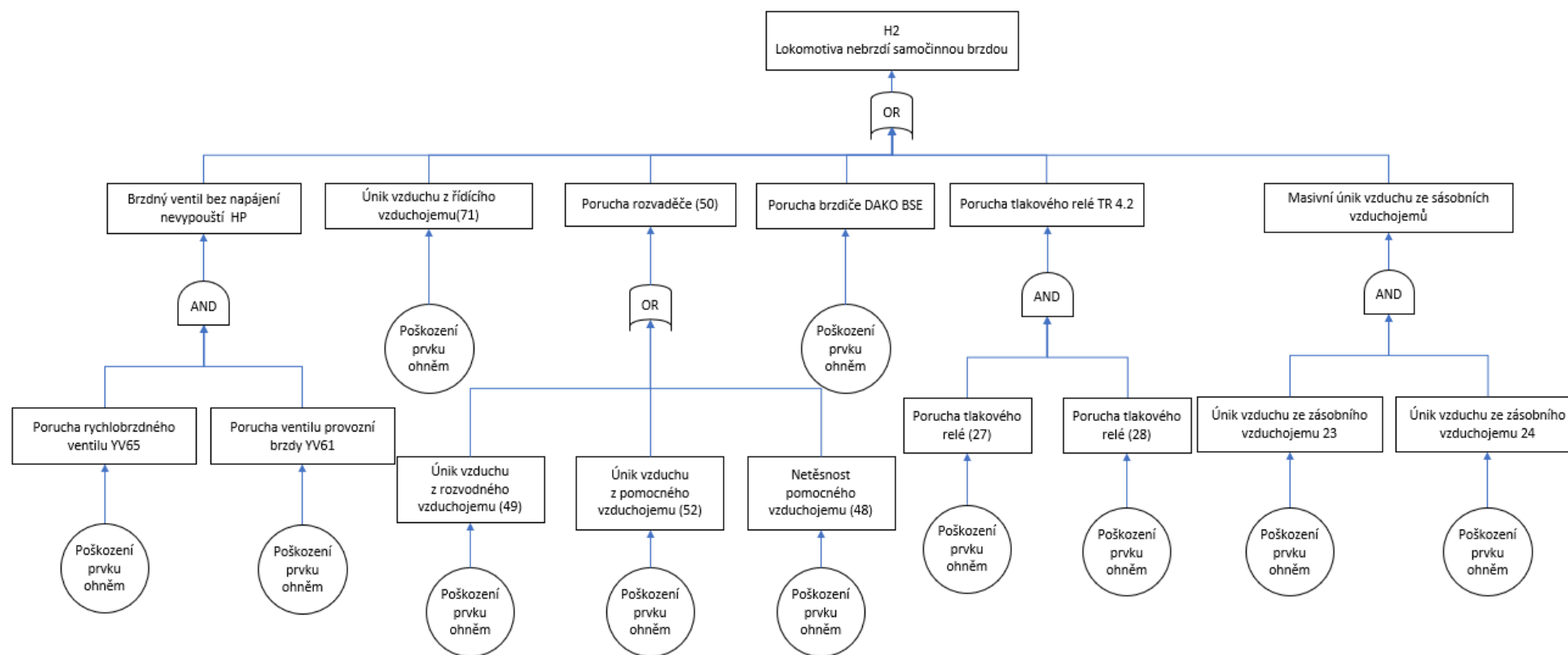


Obrázek 5 Příklad stromu poruch

V této práci se konstrukce stromů poruch zaměřuje na všechny prvky, které mohou být poškozeny požárem a jejichž poškození vede ke ztrátě funkce samočinné brzdy, a tudíž ke vzniku nebezpečné události – top jevu. Základní stromy poruch pro jednotlivá nebezpečí jsou uvedeny pod textem. Zbývající stromy jsou uvedeny v elektronické příloze. Všechny stromy poruch byly konstruovány v programu Microsoft Excel.



Obrázek 6 Strom poruch – H1 – Lokomotiva brzdí nevyžádaně



Obrázek 7 Strom poruch – H2 – Lokomotiva nebrzdí

40



## 4.2 Metoda FMEA

Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), tedy Analýza způsobů a důsledků poruch, je strukturovaná, kvalitativní analýza sloužící k identifikaci způsobů poruch systémů, jejich příčin a důsledků.

Metoda FMEA je metoda induktivní, která provádí kvalitativní analýzu bezporuchovosti a bezpečnosti systému od nižší k vyšší úrovni členění systému a zkoumá, jakým způsobem mohou objekty na nižší úrovni selhat a jaký důsledek mohou mít tato selhání pro vyšší úroveň systému. K hlavním cílům metody patří:

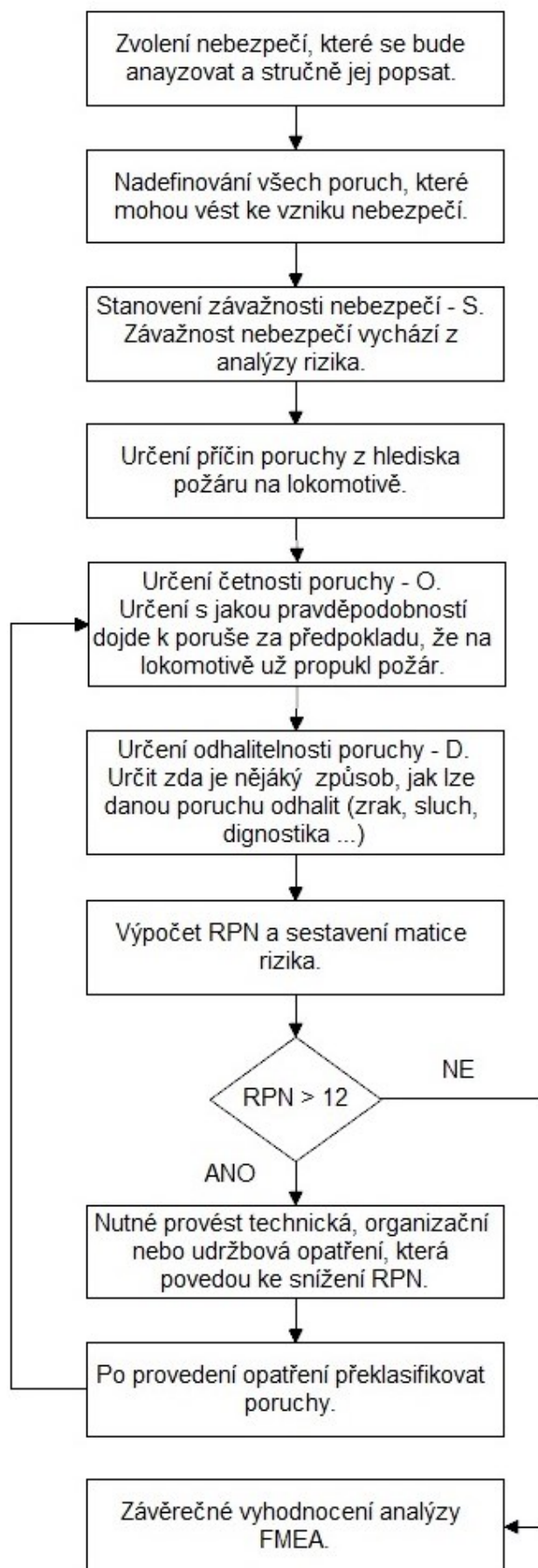
- posouzení důsledků a posoupnosti jevů pro každý zjištěný způsob poruchy prvku, s jakoukoliv její příčinou, na různých funkčních úrovních systému,
- určení významnosti každého způsobu poruchy vzhledem k požadované funkci nebo provozuschopnosti systému s uvažováním důsledků na bezporuchovost nebo bezpečnost daného procesu,
- klasifikace zjištěných způsobů poruch podle možnosti, jak lze zjistit, diagnostikovat, testovat, nahradit danou součást nebo provádět kompenzační a provozní opatření (oprava, údržba, logistický systém atd.), nebo podle jiných odpovídajících charakteristik,
- odhady ukazatelů významnosti a pravděpodobnosti poruchy, jsou-li k dispozici potřebná data. [9]

Metoda FMEA zde bude použita pro posouzení jízdní způsobilosti v případě požáru na lokomotivě. Jízdní způsobilostí se zde myslí zachování úplné funkce samočinné brzdy. Pomocí metody se určí a analyzují všechny příčiny, které vedou ke ztrátě funkce samočinné brzdy a vzniku nebezpečí H1 – H3.

Informace, získané z výsledků FMEA, poslouží jako podklady pro zavedení opatření s cílem vyhovět požadavkům funkce samočinné brzdy v případě požáru na lokomotivě.

### 4.2.1 Postup provedení FMEA analýzy

Postup, podle kterého byla provedena analýza, je znázorněn ve vývojovém diagramu na Obrázek 9. Cílem analýzy je určit hodnotu významnosti rizika – RPN, jež udává míru závažnosti nebezpečí(důsledků) rizika.



Obrázek 9 Postup analýzy FMEA

#### 4.2.2 Výpočet RPN (Risk Priority Number)

Významnost jednotlivých poruch se určí na základě hodnoty RPN. Hodnota RPN je dána jako součin hodnocení závažnosti nebezpečí – důsledku poruchy, hodnocení četnosti příčiny poruchy a hodnocení odhalitelnosti poruchy. Podle výše hodnoty RPN se rozhoduje, zda je nutné provést opatření, která přispějí ke snížení hodnoty RPN, či je hodnota RPN v příslušných mezích a návrhová opatření nejsou nutná.

Vzorec pro výpočet RPN:

$$RPN = S \cdot O \cdot D \quad (4.1)$$

$S$  závažnost nebezpečí – důsledku poruchy

$O$  četnost vzniku poruchy

$D$  odhalitelnost poruchy

Při analýze FMEA se výpočet RPN provádí dvakrát. První výpočet RPN se provádí bez jakýchkoliv opatření a následující výpočet se provede po zavedení nových opatření. Vzorec 4.1 je obecným vzorcem, který je dále modifikován.

Výpočet RPN pro vstupní hodnoty bez opatření:

$$RPN_i = S_i \cdot O_i \cdot D_i \quad (4.2)$$

$S_i$  závažnost nebezpečí – důsledku poruchy → počáteční (Severity initial)

$O_i$  četnost vzniku poruchy → počáteční (Occurrence initial)

$D_i$  odhalitelnost poruchy → počáteční (Detection initial)

Výpočet RPN po zavedení příslušných opatření:

$$RPN_r = S_r \cdot O_r \cdot D_r \quad (4.3)$$

$S_r$  závažnost nebezpečí – důsledku poruchy → následná (Severity revised)

$O_r$  četnost vzniku poruchy → následná (Occurrence revised)

$D_r$  odhalitelnost poruchy → následná (Detection revised)

#### 4.2.3 Klasifikace poruch

Při klasifikaci poruch se vychází z normy ČSN EN 50126. V následující kapitole budou zobrazeny klasifikační tabulky pro závažnost nebezpečí (poruchy), četnost poruchy a odhalitelnosti poruchy.

Úroveň závažnosti nebezpečí neboli důsledků poruchy byla již provedena v analýze rizika. Zde je zobrazena zjednodušená tabulka s klasifikací jednotlivých závažností nebezpečí/poruch. Popis jednotlivých závažností je popsán v tabulce 3.3.

Tabulka 4.2 Klasifikace závažnosti nebezpečí (důsledek poruchy) – S [11]

S	Závažnost nebezpečí/důsledek poruchy
1	Nezávažná
2	Závažná
3	Kritická
4	Katastrofická

Četnost vzniku poruchy (Tabulka 4.3) je posuzována na základě odhadu. Při hodnocení četnosti poruch bylo zohledněno:

- umístění prvku na vozidle – vyšší četnost poruch je u prvků, které se nacházejí v pojezdu vozidla (vliv vlhkosti, teploty, vibrací apod.), nižší četnost u prvků, které se nacházejí izolovaně ve strojovně nebo v kabině strojvedoucího,
- počet subsystémů pro přenos a zpracování signálu – četnost poruch vzrůstá s množstvím prvků (procesorové desky, sběrnice, dvoubránové paměti apod.),

Tabulka 4.3 Klasifikace četnosti – O [11]

O	Četnost poruchy
1	Téměř nikdy
2	Velice mírná
3	Nízká
4	Střední
5	Vysoká
6	Téměř jistá

Klasifikace odhalitelnosti poruchy (Tabulka 4.4.) vychází z předpokladu, že v analýze FMEA není uvažován vlastní diagnostický systém pro dané zařízení. Detekce poruchy je tak možná pouze vnějšími prostředky mimo toto zařízení, tj. obsluhou vozidla nebo pracovníky údržby.

Tabulka 4.4 Klasifikace odhalitelnosti poruchy – D [11]

D	Odhalitelnost poruchy
1	Téměř jistá
2	Vysoká
3	Střední
4	Nízká
5	Téměř nemožná

Nejvyšší možná hodnota ukazatele významnosti poruchy RPN je 120. V železniční dopravě se však za maximální možnou přípustnou hodnotu považuje hodnota 12. Barevné rozlišení pásem pro hodnocení velikosti RPN je následující: [11]

- **červená** – povinně provést opatření vedoucí ke snížení rizika (RPN větší než 45)
- **žlutá** – velmi doporučeno provést opatření vedoucí ke snížení rizika (RPN 12–45)
- **zelená** – není nutné provádět žádná opatření ke snížení rizika (RPN menší než 12)

#### 4.2.4 Matice závažnosti

Pro vyhodnocení analýzy FMEA se využívá matice závažnosti, která zohledňuje pouze hodnoty hodnocení – závažnost a četnost výskytu. Matice závažnosti metoda ALARP, z které se vychází, je blíže popsána v kapitola 3.2.1.

Obecný vzorec pro určení závažnosti:

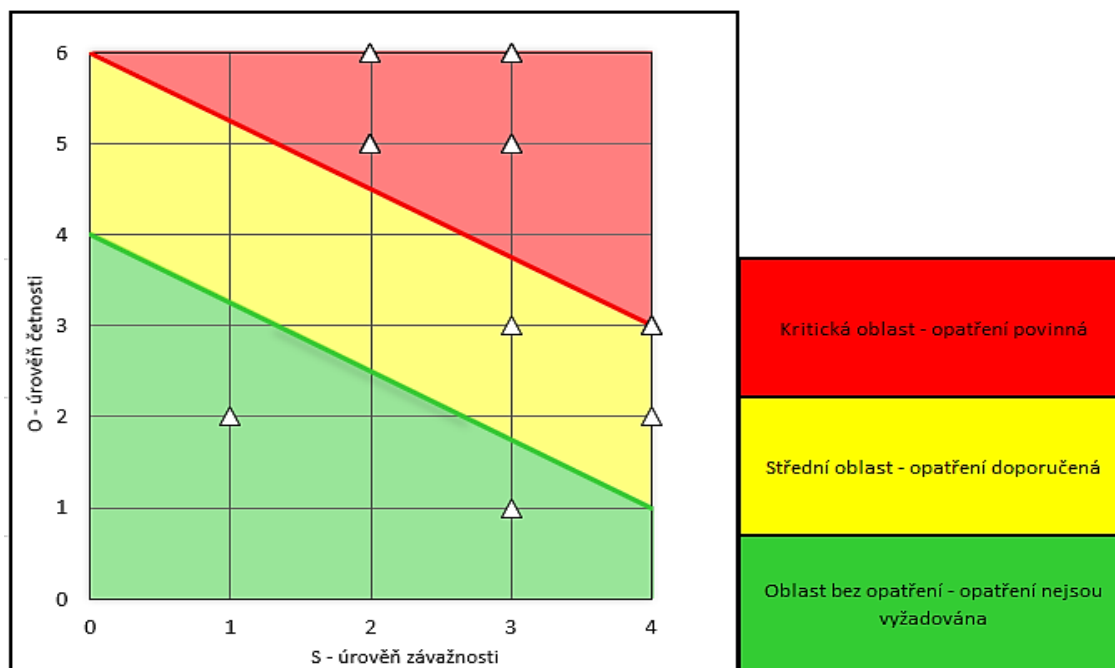
$$SxO = S \cdot O \quad (4.4)$$

S závažnost nebezpečí – důsledku poruchy

O četnost vzniku poruchy

Matice závažnosti se stavuje při vstupním hodnocení bez zavedených opatření a po zavedení opatření. Proto se obecný vzorec modifikuje stejným způsobem jako u výpočtu RPN.

S použitím této klasifikace dle normy ČSN EN 50 126 se dále sestavují třípásmové matice závažnosti pro jednotlivé subsystémy hodnoceného zařízení.



Obrázek 10 Ukázka grafického znázornění matice závažnosti

## 5. Návrh opatření pro zlepšení bezpečnosti a požární integrity obvodu brzdy

Analýza systémové funkce samočinné brzdy odhalila nedostatky některých částí, prostorů vzhledem k požadavkům na požární bezpečnost železničních vozidel. Na základě této analýzy se navrhla opatření, která jsou v souladu s požadavky normy EN 50 553. Veškerá opatření jsou navržena tak, aby se zamezilo vzniku nebezpečných událostí.

Při navrhování protipožárních opatření se bere v úvahu, zda daný prostor může být zdrojem požáru nebo může být požárem zasažen.

### 5.1 Kabely

Kabely si svoji celistvost v obvodu musí zachovat po dobu 15 minut a jejich materiál nebo ochranný plášť musí zamezovat šíření plemene. Pro dosažení těchto vlastností přichází v úvahu dvě řešení.

Výměna kabelů, které se nacházejí v nechráněných prostorech nebo prostorech, které mohou být zdrojem požáru (např. blok kompresoru) za kabely, splňující požadavek EN 50 362 nebo EN 50 200. Pokud budou tyto kabely opatřeny ochranným pláštěm, trubičkou, musí plášť splňovat normu 45 545-2. Pokud plášť splňuje tuto normu, je zajištěno, že vyhovuje vlastnostem materiálu používaného na drážních vozidlech z hlediska reakce na oheň. Plášť se používá zejména pro uložení více svazků současně a k zamezení mechanickému porušení kabelů.

Druhou možností je kabeláž nacházející se v nechráněných prostorech opatřit protipožárními ochrannými prvky prostřednictvím hadic, trubiček nebo ochranných plášťů. Prvky určené k protipožární ochraně kabelů nabízí celá řada výrobců. Protože výrobci těchto prvků deklarují pouze vlastnosti na nehořlavost daného materiálu a izolační vlastnosti, není možné, bez příslušné zkoušky, tento typ ochrany kabelů považovat za vyhovující. Aby mohla být ochrana kabelů pomocí těchto prvků uznána, musí být provedena zkouška IEC 60331-3, která prokáže zachování celistvosti vybraného druhu kabelu za použití ochranného prvku. Pokud vybraný ochranný prvek kabelu vyhoví zkoušce, bude platný pouze pro konkrétní kombinaci kabelu a pláště. Zkoušku je dobré provést pro více průměrů kabelů, protože platí, že elektrické kabely splňující požadavek pro dva různé průměry se pak považují za vyhovující pro jejich mezilehlé průměry.

Zkouškou schválená kombinace kabelu a ochranného prvku se považuje za vyhovující normě a může být dosazena na vozidlo. Při montáži se musí dbát na správné zakončení těchto prvků. Konce prvků musí mít dostatečný přesah a musí být uloženy do protipožárních průchodek.

Výhodou varianty ochrany kabelů pomocí zmiňovaných protipožárních prvků může být výrazně nižší cena na rozdíl od nákupu kabeláže splňující požadavek EN 50 362 nebo EN 50 200.

## 5.2 Hadicové spojky

Hadicové spojky v okruhu hlavního, napájecího potrubí a brzdové spojky na čele lokomotivy musí vykazovat požární odolnost 15 minut podle metody testu plamene EN ISO 15 540. Toho lze dosáhnout výměnou hadicových spojek za nové, vyhovující metodě, nebo hadice opatřit ochranným pláštěm. Plášť musí mít osvědčení, že vyhověl dané metodě. U brzdových spojek na čele lokomotivy přichází v úvahu pouze výměna za nové.

S platností normy EN 45 545 je dnes pro většinu výrobců průmyslových hadic určených pro železniční vozidla běžným standardem, že vyhovují daným požadavkům. Hadice musí navíc splňovat i požadavky na hořlavost materiálu, jak uvádí norma EN 45 545 - 2. Hadicové spojky na trhu nabízí celá řada výrobců v různých provedeních. Proto se ochranné pláště téměř nepoužívají.

## 5.3 Pneumatický blok

Na základě analýzy FTA bylo zjištěno, že se v pneumatickém bloku nachází celá řada prvků, které nejsou v případě požáru na lokomotivě dostatečně chráněny a jejichž poškození vede ke vzniku nebezpečí s nežádoucí úrovní rizika. Protože je těchto prvků v prostoru více, je lepším řešením chránit celý pneumatický blok než jednotlivé prvky samostatně.

U pneumatického bloku se nepředpokládá, že by byl zdrojem požáru, proto postačí, když bude blok chráněn protipožárními zábranami, které zaručí, že požár nevnikne do prostoru pneumatického bloku. Protipožární zábrany musí být umístěny tak, aby pokrývaly celý prostor mezi podlahou a střešou. Jako protipožární zábrany lze použít protipožární příčky nebo blok samostatně uložit do skříně, která splňuje funkci protipožárních zábran EN 45 545-3. Skříně, které splňují tyto požadavky, jsou opatřeny certifikátem a nemusí se podrobovat dalšímu zkoušení. Skříně se vyrábí přímo na míru v různých provedení. Nevýhoda těchto skříní je vysoká pořizovací cena. Skříně bych preferovala použít spíše u lokomotiv skříňové konstrukce.

## 5.4 Blok kompresoru

Opakem pneumatického bloku, u kterého se nepředpokládá, že by mohl být zdrojem požáru, je blok kompresoru. K bloku kompresoru se však musí zahrnout i prostor ventilátoru chlazení 1. podvozku. Prostor je zde zahrnut, protože se v něm nachází chladič kompresoru, který je umístěn přímo nad ventilátorem chlazení, a tím je způsobeno, že prostory nejsou

od sebe odděleny. V přední části lokomotivy se tak nachází tři elektromotory (od ventilátoru, kompresoru a chladiče), které by mohly být potencionálními zdroji požáru.

Protože je chladič umístěn v prostoru nad ventilátorem, bude vhodnější, když budou oba prostory chráněny jako jedna část, než aby došlo k jejich rozdělení. Tento prostor se pak může jednoduše vymezit pomocí protipožárních příček. Vymezený prostor vznikne umístěním protipožární příčky za blokem chlazení spalovacího motoru a opatřením pneumatického bloku protipožárními příčkami (skříní). V případě požáru v takto ohraničeném prostoru se zamezí jeho šíření do dalších částí lokomotivy. Umístění jednotlivých příček je na obrázku 11.

Veškerá kabeláž a hadice, které se ve vymezeném prostoru bloku kompresoru a ventilátoru chlazení 1. podvozku nacházejí, musí splňovat požadavky popsané v předchozích kapitolách. Dále všechny elektronické prvky v prostoru musejí být opatřeny ochranným prvkem (kryt, pouzdro), který bude splňovat požadavek E15, I15 dle EN 45 545 – 3. Elektronické výrobky s těmito ochrannými prvky dodává řada výrobců, kteří poskytují elektronická zařízení pro drážní aplikace.



Obrázek 11 Návrh na umístění protipožárních příček v přední části lokomotivy

## 5.5 Technické oddíly s vlakovým zabezpečovačem

Vlakový zabezpečovač je umístěn ve dvou technických oddílech. Panel vlakového zabezpečovače je umístěn vedle bloku kompresoru a je chráněn ochranným krytem, který však neprokázal, že vyhovuje požadavkům normy. Skříň s řídicí jednotkou vlakového zabezpečovače a s relé provozní brzdy (KR105) je umístěna mezi strojovnou a kabinou a její vnější ochranný povrch nesplňuje požadavky normy.

Návrhová opatření pro ochranu vlakového zabezpečovače, jsou následující:

- 1) Skříň s vlakovým zabezpečovačem opatřit protipožárními zábranami nebo vyměnit skříň za takovou, která splňuje funkci protipožárních zábran.



- 2) Panel vlakového zabezpečovače opatřit kovovým krytem s izolací, který bude splňovat funkci protipožární zábrany E15, I15.

## 5.6 Kabina

Kabina strojvedoucího je od sousedních kapot oddělena podlahou a protipožárními příčkami. Požární odolnost příček je však narušena nevyhovujícími průchody přes tyto příčky. Průchody přes příčky, kterými prochází vzduchovody nebo kabely nesplňují protipožární odolnost zábran, tak jak předepisuje norma. Jelikož průchody nevyhovují normě, nelze vyloučit vniknutí plamene do prostoru kabiny.

Tento nedostatek se vyřeší tím, že průchody přes protipožární příčky budou vedeny pomocí protipožárních průchodek, které budou certifikovány pro požadavek E15, I15 dle normy EN 45 545-3.

## 5.7 Rozvaděč pomocných pohonů R1, R3

Prostory rozvaděčů pomocných pohonů musíme chránit s ohledem na vznik požáru v těchto prostorech. Oba prostory mohou být zdrojem ohniska požáru, a proto bude lepším řešením prostory od sebe i okolních prostorů oddělit. Oddělení prostorů zamezí rozšíření požáru do dalších částí lokomotivy. Prostory se od sebe a okolních prostorů oddělí opět prostřednictvím protipožárních příček. Pokud bude použito řešení s protipožárními příčkami, musí všechny prvky v prostorech pomocných pohonů vykazovat stejnou požární odolnost jakou má protipožární příčka.

Pokud se v prostorech ponechá původní protipožární systém s automatickou detekcí a likvidací požáru, není v prostorech zapotřebí provádět žádné změny. Pokud je prostor vybaven tímto systémem, považují se mechanické nebo elektrické prvky v prostoru za neklasifikované, tzn. že se na prvky v prostoru nevztahují žádné požadavky.

### 5.7.1 Protipožární příčky

Protipožární příčky v železničních vozidlech představují významný bezpečnostní prvek, jehož hlavní funkcí je udržet požár po stanovenou dobu v jednom prostoru a zamezit jeho šíření do dalších částí vozidla. Proto každá protipožární příčka umístěná na vozidle musí splňovat kritéria protipožárních zábran stanovená normou EN 45 545-3.

Na protipožární příčky se dnes hojně využívají kompozitové desky, které se vyrábí v různých provedeních a nabízí je celá řada výrobců. Na trhu jsou kompozitové desky, které jsou přímo určeny pro aplikaci v železničních vozidlech a splňují tak požadavek na vlastnosti materiálu daný normou EN 45 545-2. Tyto desky zpravidla nemají certifikát protipožární

zábrany. Pokud chce zákazník kompozitovou desku použít, jako protipožární zábranu, musí ji sám nechat podrobit příslušným protipožárním zkouškám dle EN 45 545-3.

Další možností je výroba vlastní protipožární příčky a následné podrobení předepsané zkoušce. Při výrobě protipožární příčky se vychází z typických vlastností některých výrobků pro požární zábrany. V normě se uvádí, že pro splnění E60, I15 se využívá ocelový plech tloušťky 2 mm s 50 mm izolační vrstvou minerálních vláken. Minerálních vláken splňující izolační funkci je celá řada, nejčastěji se používají ta, která jsou označována jako vysokoteplotní skleněná vlákna. Minerální vlákna se pro ušetření místa nahrazují mikroporézními panely, jejichž tloušťka se pohybuje od 3–15 mm. Obal panelu tvoří tkanina ze skleněných vláken a uvnitř se nachází speciální silika. Panely jsou používány tam, kde je potřeba výrazné snížení teploty při nedostatku místa. Mikroporézní materiál se vyznačuje čistotou a snadnou instalací. Příčka, která je opatřena ocelovým plechem pouze z jedné strany, je použitelná u prostorů, kde nehrozí napadení příčky požárem z obou stran.

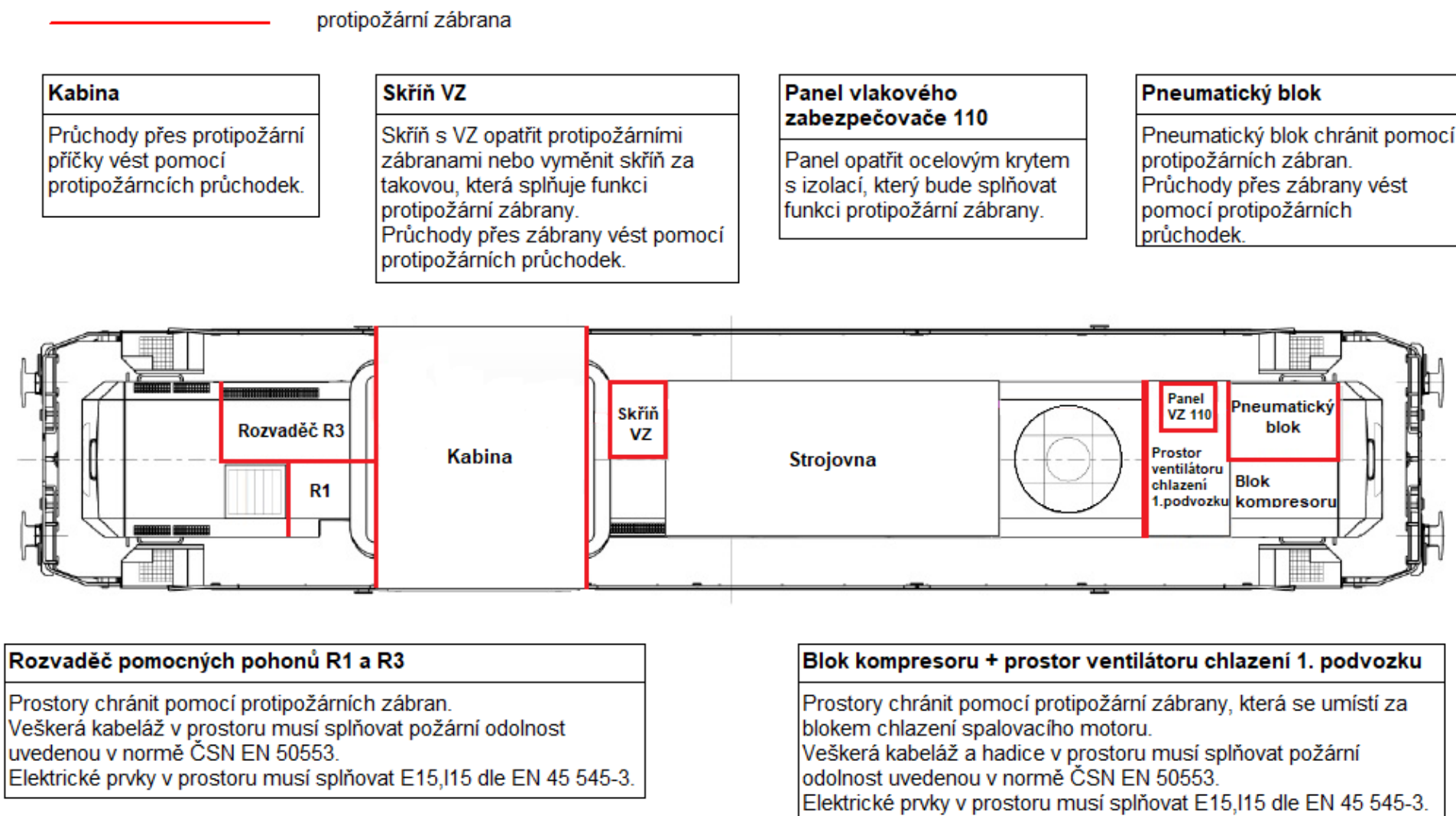
Zkoušení nevyžadují kompozitové desky, které vyhovují nejvyšší úrovni z hlediska reakce na oheň a jsou klasifikované jako A1 podle EN 13 501–1. Desky se vyrábí v mnoha provedení. Řada těchto desek vyniká svojí minimální tloušťkou, proto se hojně využívají tam, kde je nedostatek místa. Jejich nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

V případě volby vhodné protipožární příčky se předpokládá, že bude použita stejná protipožární příčka, která chrání kabinu strojvedoucího. Příčka splňuje požadavky E15, I15 a je opatřena zkouškou požární odolnosti EN 45 545-3.

Schéma s umístěním protipožárních zábran (příček) na lokomotivě a s krátkým popisem je zobrazeno na obrázku 12.

Průchody přes protipožární příčku nesmí snižovat její požární odolnost. Proto je nutné, aby průchody kabelů nebo potrubí přes protipožární příčky byly vedeny pomocí protipožárních průchodek. Protipožární průchodky musí splňovat EN 45 545 -3. Těchto průchodek je na trhu celá řada a vyrábí se v různých provedení. Při montáži průchodek se musí dbát na dodržení veškerých postupů deklarovaných výrobcem.

## Schéma umístění protipožárních zábran



Obrázek 12 Schéma umístění protipožárních zábran

## 6. Výpočet pravděpodobnosti vzniku poruchových stavů obvodu brzdy

Výpočet pravděpodobnosti vzniku poruchových stavů obvodu brzdy má posloužit jako predikce spolehlivosti funkce samočinné brzdy v rámci předběžného provozu lokomotivy. Zároveň má být výpočtem porovnána pravděpodobnost vzniku poruchy funkce brzdy s pravděpodobností vzniku poruchy způsobené požárem na vozidle.

### 6.1 Výpočet spolehlivosti brzdy

Výpočet spolehlivosti samočinné brzdy se provedl pro dva poruchové stavy. Stavy byly vybrány, protože představují nejvyšší úroveň rizika. První poruchový stav je H1 – nevyžádané brzdění lokomotivy a druhý H2 – lokomotiva nebrzdí samočinnou brzdou neboli ztráta funkce samočinné brzdy. Pro oba poruchové stavy byly sestaveny stromy poruch, na jejichž základě se realizoval výpočet pravděpodobnosti vzniku poruchových stavů. (Ukázkový strom poruch pro H1 – nevyžádané brzdění lokomotivy i s výpočtem je v příloze na konci práce. Strom poruch pro H2 – lokomotiva nebrzdí samočinnou brzdou je vzhledem k jeho rozsahu v elektronické příloze.)

Do výpočtu nebyla zahrnuta kabeláž, svorkovnice, konektory, hadicové spojky a vzduchojemy. U prvků se předpokládá, že bude dodržen kodex správné praxe a budou řádně dodržována předepsaná údržbová opatření, proto se prvky do výpočtu pravděpodobnosti vzniku poruchy nezahrnují.

Výpočet pravděpodobnosti vzniku poruch je počítán na dobu 12 let. Po této době má vozidlo předepsanou hlavní opravu, ve které budou kompletně demontovány a vyměněny všechny celky brzdového systému. U vozidla se předpokládá, že bude v provozu šest dní v týdnu po dobu 16 hodin. Viz. Tabulka 6.1.

Tabulka 6.1 Doba hnacího vozidla v provozu

Předpokládaná doba hnacího vozidla v provozu	
	[h]
Doba provozu za den	16
Doba provozu za týden	96
Doba provozu za měsíc	384
Doba provozu za rok	4 608
Celková doba provozu za 12 let	55 296

Protože se vznik poruchových stavů posuzuje vzhledem k době provozu, doba do poruchy může nabývat různých hodnot z intervalu  $(0; \infty)$  a představuje spojitou náhodnou

veličinu. Rozdělení pravděpodobnosti spojitě náhodné veličiny popisuje distribuční funkce. Pro výpočet pravděpodobnosti vzniku poruchových stavů bylo zvoleno exponenciální rozdělení pravděpodobnosti.

Exponenciální rozdělení se využívá pro popis doby do vzniku náhodného jevu (např. poruchy) v Poissonově procesu charakteristickém konstantní intenzitou výskytu jevu.

Ve spolehlivosti je toto rozdělení vhodné pro systémy, u nichž dochází k poruchám náhodně a náhle, bez opotřebení. Parametrem exponenciálního rozdělení je  $\lambda$  – intenzita poruch. [9]

Intenzita poruch pro jednotlivá nebezpečí byla vypočítána ze stromu poruch. Intenzita poruch se vyjadřuje v jednotkách  $h^{-1}$  nebo v jednotkách FIT. Jednotka FIT představuje počet poruch vztažených na jednu miliardu hodin provozu.

Na základě intenzity poruch se určí MTBF – střední doba provozu mezi poruchami.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} [h] \quad (6.1)$$

Poruchovost je počítána dle vztahu distribuční funkce:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} \quad (6.2)$$

$t$  – čas, tj. délka intervalu, ve kterém zjišťujeme pravděpodobnost výskytu jevu. [h]

$\lambda$  – intenzita poruch [ $h^{-1}$ ]

Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového stavu  $R(t)$  se vypočte:

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (6.3)$$

Tabulka 6.2 Pravděpodobnost vzniku nebezpečné poruchy

Předpokládaný vznik nebezpečné poruchy samočinné brzdy v období 12 let					
Nebezpečí	MTBF	$\lambda$	$\lambda$	F(t)	R(t)
	[h]	[ $h^{-1}$ ]	[FIT]		
H1 – Lokomotiva brzdí nevyžádaně	$2,07 \cdot 10^4$	$4,83 \cdot 10^{-5}$	48344	0,931	0,069
H2 – Lokomotiva nebrzdí samočinnou brzdou	$7,45 \cdot 10^5$	$1,34 \cdot 10^{-6}$	1342	0,072	0,928

V tabulce 6.2 jsou vypočteny pravděpodobnosti vzniku jednotlivých nebezpečí v průběhu 12 let. U nebezpečí H2 – Lokomotiva nebrzdí samočinnou brzdou je skutečná hodnota intenzity poruchy odlišná. Samočinná brzda je totiž zálohována přímočinnou brzdou, aby bylo dosaženo předepsané intenzity poruch podle ČSN EN 50 126. Skutečná intenzita

poruchy samočinné brzdy se tak pohybuje v řádu  $10^{-9}$  poruch za hodinu. Tabulka udává pouze bezporuchovost samostatné funkce samočinné brzdy.

## 6.2 Pravděpodobnost selhání brzdy v důsledku požáru

Následující kapitola jednoduchým výpočtem poukazuje na pravděpodobnost nebezpečného selhání brzdy způsobeného požárem a srovnává jej s pravděpodobností nebezpečného selhání brzdy zapříčiněného poruchou. Výpočet pravděpodobnosti výskytu dvou jevů byl realizován pomocí Poissonova rozdělení pravděpodobnosti.

### 6.2.1 Poissonovo rozdělení

Poissonovo rozdělení popisuje pravděpodobnost výskytu náhodných jevů během stanoveného časového intervalu (případně v určitém prostoru, množství atd.). Tento proces, označovaný jako Poissonův, platí za předpokladů, že:

- intenzita výskytu náhodného jevu je konstantní během celého intervalu,
- události se vyskytují nezávisle na sobě,
- pravděpodobnost současného vzniku dvou událostí je nulová. [9]

Pro výpočet byl použit vztah hustoty pravděpodobnosti nastoupení jevu:

$$p(k) = \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (6.4)$$

$k$       počet sledovaných jevů (poruch, požárů),  $k = 1, 2, 3 \dots n$

$\lambda$       intenzita poruch [ $\text{h}^{-1}$ ]

$t$       čas, tj. délka intervalu, ve kterém zjišťujeme pravděpodobnost výskytu jevu. [h]

### 6.2.2 Výpočet a porovnání výsledků

Výpočet o pravděpodobnosti vzniku požáru na vozidle byl realizován na základě dat získaných ze Statistického úřadu Evropské unie neboli Eurostatu. Z Eurostatu byla získána data o počtu požárů na hnacích železničních vozidlech a počtu provozovaných hnacích železničních vozidlech v ČR.

Tabulka 6.3 deklaruje počet zaznamenaných závažných požárů na hnacích železničních vozidlech v průběhu pěti let. Za závažný požár se považuje takový, který ohrozil bezpečnost železniční dopravy. Z těchto dat byl vypočten průměrný počet požárů za rok.

Do tabulky je zahrnut i poslední záznam o počtu provozovaných hnacích železničních vozidlech na našem území.

Tabulka 6.3 Data z Eurostatu

Počet evidovaných závažných požárů v ČR v období 2013–2017	
Rok	Počet
2013	2
2014	0
2015	4
2016	2
2017	2
Celkem	10
<b>Průměrný počet požárů za rok</b>	2
<b>Počet evidovaných hnacích vozidel v ČR v roce 2017</b>	
2010	

Na základě dat z tabulky 6.3 byla vypočtena střední doba do vzniku požáru MTBFR a z toho následná intenzita požáru  $\lambda_p$ . Viz. Tabulka 6.4

Tabulka 6.4 Určení základních hodnot pro výpočet pravděpodobnosti vzniku požáru

Průměrný počet evidovaných požárů za rok	2
Počet vozidel	2010
Doba provozu jednoho vozidla za rok [h]	4608
Akumulovaný čas provozu [h]	9262080
Střední doba do požáru MTBFR[h]	$4,63 \cdot 10^6$
$\lambda_p$ [ $h^{-1}$ ]	$2,16 \cdot 10^{-7}$

Akumulovaný čas provozu, představuje čas, po který jsou všechna vozidla v provozu během jednoho roku.

Střední doba do požáru MTBFR se vypočítala:

$$MTBFR = \frac{2}{9\,262\,080} = 4,64 \cdot 10^6 \text{ h}$$

Následně výpočet intenzity požáru  $\lambda_p$ :

$$\lambda_p = \frac{MTBFR}{1} = \frac{4,64 \cdot 10^6}{1} = 2,16 \cdot 10^{-7} h^{-1}$$

Výsledné hodnoty pravděpodobnosti nebezpečného selhání brzdy za období 12 let jsou v následující tabulce. Výpočet byl proveden pomocí zmiňovaného Poissonova rozdělení. Při výpočtu pravděpodobnosti vzniku poruchového stavu brzdy bylo počítáno se zvolenou intenzitou poruchy  $\lambda = 1 \cdot 10^{-9}$ , která se reálně blíží skutečné hodnotě.

Tabulka 6.5 Výsledná tabulka hodnocení pravděpodobnosti

Pravděpodobnost nebezpečného selhání samočinné brzdy v období 12 let				
Počet selhání	$p(k)$ -vznik poruchy		$p(k)$ -vznik požáru	
0	$9,999 \cdot 10^{-1}$	99,9 %	$9,881 \cdot 10^{-1}$	98,8 %
1	$5,53 \cdot 10^{-5}$	0,006 %	$1,18 \cdot 10^{-2}$	1,2 %
2	$1,53 \cdot 10^{-9}$		$7,04 \cdot 10^{-5}$	0,007 %

Na základě výpočtů uvedených v tabulce bylo zjištěno, že pravděpodobnost vzniku prvního selhání brzdy příčinou požáru na vozidle je vyšší než pravděpodobnost selhání v důsledku poruchy.

Dále je třeba uvažovat, že hodnota pravděpodobnosti poruchy v důsledku požáru může být ve skutečnosti o něco vyšší. Do výpočtu nebyly zahrnuty výskyty menších požárů, které nejsou evidovány. Důkaz o tom, že ve skutečnosti dochází k častějšímu výskytu požárů na vozidlech vychází ze záznamů firmy CZ LOKO. Firma v období 2016–2018 vyrobila a modernizovala dohromady 220 hnacích vozidel. Na těchto vozidlech byly v garanční době (garanční doba je 2 roky) evidovány tři požáry menšího rozsahu.

Z toho vyplývá, že i přesto, že se intenzita poruch samočinné brzdy pohybuje v řádu  $10^{-9}$  poruch za hodinu, je větší pravděpodobnost vzniku poruchy brzdy příčinou požáru než selhání brzdy v důsledku poruchy.



## 7. Zhodnocení navržených opatření

Největší nedostatky vzhledem k požární bezpečnosti byly zjištěny v přední části vozidla. V této části se nachází pneumatický blok, kde jsou umístěny hlavní části brzdy, blok kompresoru a prostor ventilátoru chlazení prvního podvozku. V této části vozidla není žádné protipožární zabezpečení, i přesto, že v bloku kompresoru a prostoru ventilátoru chlazení se dohromady nacházejí tři elektromotory, které by mohly být potencionálními zdroji požáru. Dále je v prostoru ventilátoru chlazení umístěn panel VZ.

Návrhové opatření spočívá v umístění protipožárních příček kolem pneumatického bloku. Protipožární příčky tak zabrání vniknutí plamene do prostoru a uchrání nejenom části samočinné brzdy, ale celý pneumatický blok proti požáru. Panel VZ v prostoru ventilátoru chlazení je třeba opatřit ochranným krytem, který bude splňovat stejnou protipožární odolnost jako příčka. Další příčku je možné umístit za bok chlazení spalovacího prostoru. Tato příčka bude mít dvě funkce. Bránit šíření plamene, pokud vypukne požár v prostoru kompresoru nebo ventilátoru chlazení, anebo naopak zamezit vniknutí plamene do těchto prostor.

Opatření v podobě protipožárních příček bylo navrženo i pro prostor s vlakovým zabezpečovačem a pro prostory rozvaděče R1 a R3. U protipožárních příček je důležité, aby průchody přes příčku, například pro kabely nebo vzduchové hadice, nesnižovaly její protipožární odolnost. Proto je potřeba průchody přes příčky opatřit protipožárními průchodkami. Elektrické prvky, které se nachází v prostorech, kde by mohlo dojít k požáru, musí mít ochranný kryt, který bude splňovat stejné vlastnosti jako protipožární příčka.

Výhoda protipožárních příček spočívá v udržení ohně v jednom prostoru po stanovenou dobu a ve srovnání se systémem automatické detekce a likvidace požáru představuje poměrně levné a jednoduché řešení požární ochrany vozidel. Protipožární příčky jsou navíc téměř bezúdržbové.

Protipožární ochrana hadicových spojek a kabeláže bude zajištěna výměnou za nové, které budou vyhovovat požadavkům normy. U kabeláže se nabízí i řešení v podobě ochranných plášťů či trubiček. Aby však řešení mohlo být uznáno za vyhovující normě, musí vyhovět předepsané zkoušce. Pokud by navržené řešení vyhovělo zkoušce, mohlo by přinést úsporu peněz, na rozdíl od nákupu kabeláže splňující požadavek EN 50 362 nebo EN 50 200.

Návrhová opatření byla navržena tak, aby splňovala požadavky na jízdní způsobilost v případě požáru drážního vozidla a vedla ke zvýšení spolehlivosti brzdového systému vzhledem k požární bezpečnosti.

## 8. Závěr

Diplomová práce se zabývala požadavky kladenými na jízdní způsobilost vozidla, konkrétně na funkci samočinné brzdy v případě vzniku požáru na vozidle. Na základě požadavků normy byla provedena analýza prvků samočinné brzy vzhledem k požární odolnosti a dále byla provedena analýza rizika pro různá nebezpečí, která mohou v důsledku selhání brzdy nastat.

V další části práce se provedla FTA analýza zaměřená na všechny prvky, které mohou být poškozeny požárem a jejichž poškození vede ke ztrátě funkce samočinné brzdy. Všechny stromy poruch vychází z interní technické dokumentace firmy CZ Loko. Na základě FTA analýzy byla provedena FMEA analýza a následná návrhová opatření. Návrhová opatření byla navržena tak, aby splňovala požadavky na jízdní způsobilost v případě požáru drážního vozidla stanovené normou ČSN EN 50 553.

V poslední části práce byl proveden výpočet pravděpodobnosti vzniku nebezpečné poruchy samočinné brzdy a výpočet pravděpodobnosti vzniku nebezpečné poruchy samočinné brzdy v důsledku požáru. Výpočtem bylo zjištěno, že pravděpodobnost poškození brzdy v důsledku požáru je vyšší než samotná pravděpodobnost poruchy samočinné brzdy. Z čehož vyplývá, že pokud má být dosaženo předepsané spolehlivosti brzdového systému, musí brzdový systém splňovat nejenom požadovanou bezporuchovost, ale zároveň musí být opatřen dostatečnou protipožární ochranou.

## Seznam literatury a zdrojů

- [1] *Technický popis: Motorová lokomotiva 744.1*. CZ LOKO, a.s. Česká Třebová, 2018.
- [2] *Instalace protipožárního systému na lokomotivu řady 744.1*. CZ LOKO, a.s. Česká Třebová, 2018.
- [3] *Popis elektrické výzbroje: Motorová lokomotiva 744.1*. CZ LOKO, a.s. Česká Třebová, 2018.
- [4] *Popis pneumatické výzbroje: Motorová lokomotiva 744.1*. CZ LOKO, a.s. Česká Třebová, 2018.
- [5] *Technická dokumentace*. CZ LOKO, a.s. Česká Třebová, 2018.
- [6] *ČSN EN 50553. Drážní zařízení – Požadavky na jízdní způsobilost v případě požáru drážních vozidel*. Praha: Pracovník Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [7] *ČSN EN 45 545-3. Drážní aplikace - Protipožární ochrana drážních vozidel: Část 3: Požadavky na požární odolnost požárních zábran*. 1. Praha: UNMZ, 2013.
- [8] *ČSN EN 50126. Drážní zařízení - Stanovení a prokázání bezporuchovosti, pohotovosti, udržitelnosti a bezpečnosti (RAMS)*. 1. Praha: UNMZ, 2001.
- [9] *FAMFULÍK, J., HRANOŠ, V., KRZYŽANEK, R., GALVASOVÁ, Z. Spolehlivost pozemní dopravy [online]*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Univerzita Pardubice, 2013 [cit. 2019-05-05]. ISBN 978-80-248-3266-1. Dostupné z: <http://www.vvvd.cz/m11-spolehlivost-pozemni-dopravy-26.html>.
- [10] *ČSN EN 45 545-2+A1. Drážní aplikace - Protipožární ochrana drážních vozidel: Část 2: Požadavky na požární vlastnosti a materiálů součástí*. 1. Praha: UNMZ, 2015.
- [11] *Analýza způsobů a důsledků poruch – Metoda FMEA*. CZ LOKO, a.s. Česká Třebová, 2012.
- [12] *Průchodkové systémy - EMC komponenty | icotek*. [online]. Copyright © 2019 icotek GmbH [cit. 12.05.2019]. Dostupné z: <https://www.icotek.com/cs/>
- [13] *Passive Fire Protection Boards and Systems | Kemwell Fire* [online]. Copyright © 2019 [cit. 12.05.2019]. Dostupné z: <https://www.kemwell-fire.com>
- [14] *Promat Industry - thermal insulation, fire and acoustic protection - Promat. Object moved* [online]. Dostupné z: <https://www.promat-hpi.com/en>
- [15] *Hydraulika / Pneumatika / Průmyslová automatizace - Parker* [online]. Copyright © Parker Hannifin 2014 [cit. 12.05.2019]. Dostupné z: <http://www.parker.cz/>
- [16] *Produkty | NANOFUTURE s.r.o.* [online]. Copyright © 2012 [cit. 12.05.2019]. Dostupné z: <http://www.schaltbau.cz/produkty.html>
- [17] *ASTE Sp. z o.o.* [online]. Dostupné z: <https://www.aste.pl/>
- [18] *Relats S.A.* [online]. Copyright © Copyright 2019 Relats, S.A. [cit. 12.05.2019]. Dostupné z: <https://relats.cat/en/>

- [19] *Eurostat: Rail accidents by type of accident (ERA data)* [online]. [cit. 2019-05-11].  
Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/home>
- [20] *Eurostat: Number of locomotives and railcars, by source of power* [online].  
[cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/home>

## Seznam tabulek

Tabulka 1.1 Základní technické údaje [1] .....	14
Tabulka 3.1 Tabulka analýzy požadavků .....	28
Tabulka 3.2 Četnost výskytu nebezpečných událostí [8] .....	29
Tabulka 3.3 Úroveň závažnosti nebezpečí [8] .....	30
Tabulka 3.4 Matice četností – následků.....	31
Tabulka 3.5 Tabulka hodnocení a přijetí rizika [8].....	33
Tabulka 3.6 Analýza rizika.....	34
Tabulka 4.1 Název a popis jednotlivých značek vyskytujících se ve stromě poruch.....	36
Tabulka 4.2 Klasifikace závažnosti nebezpečí (důsledek poruchy) – S [11] .....	44
Tabulka 4.3 Klasifikace četnosti – O [11].....	44
Tabulka 4.4 Klasifikace odhalitelnosti poruchy – D [11] .....	44
Tabulka 6.1 Doba hnacího vozidla v provozu .....	52
Tabulka 6.2 Pravděpodobnost vzniku nebezpečné poruchy .....	53
Tabulka 6.3 Data z Eurostatu .....	55
Tabulka 6.4 Určení základních hodnot pro výpočet pravděpodobnosti vzniku požáru .....	55
Tabulka 6.5 Výsledná tabulka hodnocení pravděpodobnosti .....	56

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Lokomotiva 744.1 [1].....	14
Obrázek 2 Popis částí lokomotivy [1].....	15
Obrázek 3 Rozdělení kontrolovaných a hašených prostorů na lokomotivě [2] .....	16
Obrázek 4 Koncept metoda Alarp.....	32
Obrázek 5 Příklad stromu poruch .....	36
Obrázek 6 Strom poruch – H1 – Lokomotiva brzdí nevyžádaně .....	38
Obrázek 7 Strom poruch – H2 – Lokomotiva nebrzdí .....	39
Obrázek 8 Strom poruch – H3 – Lokomotiva nejde odbrzdit.....	40
Obrázek 9 Postup analýzy FMEA.....	42
Obrázek 10 Ukázka grafického znázornění matice závažnosti .....	45
Obrázek 11 Návrh na umístění protipožárních příček v přední části lokomotivy .....	48
Obrázek 12 Schéma umístění protipožárních zábran .....	51

## Seznam příloh

Příloha A      FMEA analýza

Příloha B      Matice závažnosti

Příloha C      Ukázka stromu poruchy

Multimediální příloha ve formě přiloženého CD